

Rafał Nowak  
Maria Włodarczyk-Makuła  
Ewelina Mamzer  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii  
ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa

## Ryzyko środowiskowe i zdrowotne wynikające ze stosowania środków ochrony roślin

Environmental and health risk resulting from applying plant protection products

### Streszczenie

Środki ochrony roślin, zwane powszechnie pestycydami, stanowią grupę preparatów stosowaną w rolnictwie, ogrodnictwie, leśnictwie, weterynarii, jak również wykorzystywanych do impregnacji materiałów tekstylnych i tworzyw sztucznych. Toksyczność pestycydów wynika z obecności składników biologicznie czynnych, emulgatorów, substancji pomocniczych i wypełniaczy mogących niekorzystnie wpływać na biocenozę środowiska. Dlatego też stosowanie pestycydów wiąże się z ryzykiem środowiskowym i zdrowotnym. W ocenie ryzyka wyróżnia się cztery główne elementy takie jak: identyfikacja ryzyka, ocena zależności dawka-odpowiedź, skala narażenia oraz ogólna charakterystyka ryzyka. Analiza i ocena ryzyka środowiskowego i zdrowotnego jest ważnym czynnikiem we wprowadzaniu preparatów pestycydowych do powszechnego stosowania, dlatego celem niniejszej pracy było przedstawienie aspektów ryzyka związanego ze stosowaniem pestycydów.

**Słowa kluczowe:** *ryzyko środowiskowe, ryzyko zdrowotne, pestycydy*

### Abstract

Pesticides constitute the group of preparations using in farming, horticulture, forestry, veterinary science, as well as of textile materials used for the impregnation and plastics. The toxicity of pesticides, the presence of biologically active ingredients, emulsifiers, support substances and fillers circles can adversely affect the biocoenosis. Therefore applying pesticides is connected with an environmental

risk and health risk. In the risk assessment four main elements are being singled out so as: the identification of the risk, the evaluation of the dose-response relationship, the scale of exposing and an overall description of the risk. Analysis and the evaluation of the environmental and health risk are the single most important factor in inserting pesticidal preparations into universal applying, therefore describing aspects of the connected risk was a purpose of this work with applying pesticides.

**Keywords:** *environmental risk, health risk, pesticides*

## 1. Wprowadzenie

Pestycydy to grupa preparatów stosowanych w rolnictwie, ogrodnictwie, leśnictwie, weterynarii, a także wykorzystywanych do impregnacji materiałów tekstylnych, tworzyw sztucznych i innych. Obecnie znanych jest około 10 tys. związków tego typu, różniących się budową, właściwościami i przeznaczeniem [1]. Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego [2] w 2014 r. wyprodukowano w Polsce 31,6 tysięcy ton pestycydów i w porównaniu do lat poprzednich ilość wytworzonych tego typu związków systematycznie wzrasta. Substancje chemiczne wykorzystywane w produkcji pestycydów, jako składniki biologicznie aktywne, są toksyczne dla określonych grup organizmów (owadobójcze, roztoczebójcze, bakteriobójcze i inne) i dlatego ważne jest zapewnienie ich selektywnego oddziaływania.

Niezwykle istotna jest trwałość, wyrażana często poprzez czas połowicznego rozpadu, składników biologicznie czynnych oraz wypełniaczy występujących w stosowanych preparatach. Oprócz substancji aktywnej w pestycydach obecne są stabilizatory, emulgatory oraz substancje pomocnicze, które także mogą niekorzystnie wpływać na biocenozę środowiska. Jest to związane z właściwościami fizyczno-chemicznymi, podatnością na przemiany w zmiennych warunkach środowiskowych oraz kumulacją w organizmach i przenikaniem do łańcucha pokarmowego.

Stosowanie pestycydów wiąże się z ryzykiem. Należy tutaj uwzględnić ryzyko środowiskowe oraz ryzyko zdrowotne. Ważnym zagadnieniem środowiskowym jest stosowanie optymalnych dawek oraz prawidłowa utylizacja środków przeterminowanych oraz opakowań po zużytych preparatach. Natomiast ryzyko zdrowotne wynika z toksycznego oddziaływania na organizmy biologicznie aktywnych składników preparatów, wypełniaczy a także produktów ich przemian. W środowisku zachodzić bowiem mogą wielokierunkowe przemiany tych związków i zidentyfikowanie wszystkich możliwych produktów pośrednich jest trudne, a właściwie niemożliwe. Migracja, trwałość oraz synergistyczne oddziaływanie sprawiają, że pestycydy w wyniku długotrwałego oddziaływania na organizm człowieka mogą przyczynić się do uszkodzenia organów wewnętrznych, chorób nowotworowych oraz prowadzić do zmian muta- i teratogennych [3-6]. Ryzyko

wiąże się bezpośrednio z zagrożeniem, narażeniem lub niebezpieczeństwem, będącymi następstwem kontaktu z substancjami chemicznymi. Metody, za pomocą których można przeprowadzić ocenę narażenia to monitoring środowiskowy i monitoring biologiczny (biomonitoring narażenia i biomonitoring skutków zdrowotnych).

Ocena ryzyka definiowana jest jako ilościowa lub jakościowa charakterystyka potencjalnych negatywnych skutków środowiskowych lub zdrowotnych, które wynikają z narażenia na określone czynniki szkodliwe. Ocena ryzyka związana z zastosowaniem pestycydów ma na celu określenie prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanych oddziaływań na poszczególne elementy środowiska oraz działań ograniczających jego szkodliwość w przypadku wystąpienia zagrożenia. W ocenie ryzyka wyróżnia się cztery główne elementy takie jak: identyfikacja ryzyka, ocena zależności dawka-odpowiedź, skala narażenia oraz ogólna charakterystyka ryzyka [7]. Wnikliwa analiza i ocena ryzyka środowiskowego oraz zdrowotnego są niezbędnymi czynnikami decydującymi o wykorzystaniu pestycydów do powszechnego stosowania.

Zapisy prawne dotyczące ochrony zdrowia ludzkiego i środowiska przed działaniem substancji chemicznych obowiązujące w Polsce [8] odnoszą się bezpośrednio do Konwencji Sztokholmskiej w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO). Konwencja została przyjęta w 2001 r. i weszła w życie w roku 2004. TZO jako grupa obejmuje toksyczne związki chemiczne, które są trwałe i posiadają zdolność do bioakumulacji oraz do przemieszczania się w środowisku. Celem nadrzędnym Konwencji było całkowite wyeliminowanie lub znaczne ograniczenie produkcji i stosowania TZO oraz minimalizacja nieplanowanego uwalniania TZO (dioksyn, furanów). W załączniku A do Konwencji wymieniono substancje przewidziane do całkowitego wycofania z produkcji, obrotu i stosowania. Należą do nich: aldryna, alfa-heksachlorocycloheksan, beta-heksachlorocycloheksan, chlordan, chlordekon, dieldryna, endryna, heptachlor, heksabromodiphenyl, eter heksabromodifenylu oraz eter heptabromodiphenylu, heksachlorobenzen, lindan, mireks, pentachlorobenzen, polichlorowane bifenyle, eter tetrabromodifenylu i eter pentabromodifenylu, toksafen oraz endosulfan. Są to związki o wysokiej toksyczności, które pomimo wycofania z użycia oznaczane są w poszczególnych elementach środowiska jako ich pozostałości lub metabolity przemian wewnątrzkomórkowych. Konwencja Rotterdamska z kolei określa procedury obrotu niektórymi niebezpiecznymi substancjami chemicznymi i pestycydami oraz promuje zasady przyjaznego dla środowiska stosowania tych produktów [9-11]. Z tych względów prowadzone są badania decydujące o określeniu warunków stosowania oraz dopuszczenia do obrotu i sprzedaży pestycydów. [7, 12, 13]. Działania te podejmowane są zarówno w obszarze dystrybucji pestycydów jak i miejscach i sposobach docelowego zastosowania z zachowaniem zasad bezpieczeństwa oraz sposób postępowania z opakowaniami po zużytych środkach [14, 15]. Celem pracy było przedstawienie aspektów ryzyka środowiskowego i zdrowotnego związanego ze stosowaniem pestycydów.

## 2. Rodzaje pestycydów

Pestycydy można sklasyfikować pod względem chemizmu substancji biologicznie aktywnej, celu zastosowania, trwałości i toksyczności na organizmy wskaźnikowe. Pod względem chemicznym pestycydy można podzielić na: chloroorganiczne, fosforoorganiczne, pochodne triazyn, pochodne kwasu fenoksyoctowego i karbaminiany.

Pestycydy wykorzystywane są do [3]:

- ograniczenia wzrostu chwastów i roślin niepożądanych, niebędących chwastami,
- niszczenia lub wabienia organizmów zwierzęcych niszczących roślinność,
- niszczenia patogenów,
- zwalczania czynników odpowiedzialnych za gnicie roślin,
- regulacji oraz stymulacji wzrostu roślin.

Ze względu na przeznaczenie i sposób działania pestycydy dzieli się na [16, 17]:

- a) zoocydy, w których substancja biologicznie aktywna działa przeciw szkodnikom zwierzęcym,
- b) insektycydy - owadobójcze, larwicydy - larwobójcze, akarycydy - roztaczobójcze, bakteriocydy - bakteriobójcze, rodentocydy - larwobójcze, owicydy - zwalczające jaja roztoczy i owadów, moluskocydy - mięczakobójcze, limacydy - zwalczające ślimaki nagie, nematocydy - nicieniobójcze, aficydy - mszycobójcze, repelenty - preparaty odstrasżające, atraktanty - preparaty zwabiające,
- c) fungicydy i fungistatki jako preparaty grzybobójcze i grzybostatyczne,
- d) herbicydy - chwastobójcze, wśród których wyróżnia się wybiórcze - niszczące wybrane gatunki roślin i totalne - zwalczające wszystkie rośliny,
- e) regulatory wzrostu czyli środki hamujące lub stymulujące wzrost roślin. Są to: defloranty - środki służące do usuwania zbyt dużej ilości kwiatów, defolianty - preparaty do usuwania liści oraz desykanty - preparaty do wysuszania liści.

Pestycydy mogą być klasyfikowane na podstawie ich trwałości w środowisku [3, 16]:

- nietrwałe - rozkład do 12 tygodni,
- umiarkowanie trwałe - rozkładalne w ciągu 1-18 miesięcy,
- trwałe - rozkładane w ciągu 2-3 lat w 75-100%.

Pestycydy można też podzielić pod względem toksyczności na: chroniczną, subchroniczną i ostrą [15]. Klasyfikację pestycydów pod względem oceny toksyczności i zagrożeń dla środowiska przedstawiono w tabeli 1 [3, 15, 16]:

Tabela 1. Klasyfikacja pestycydów pod względem oceny toksyczności i zagrożenia dla środowiska [3, 15, 16]:  
 Table 1. Classification of pesticides in terms of the evaluation of the toxicity and environmental risks

Klasyfikacja		Ocena i stopień	Próg
toksyczności pestycydów			
Ryby	R50/53	bardzo toksyczne	LC50 ryby $\leq$ 1 mg/dm <sup>3</sup>
	R51/53	toksyczne	1 mg/dm <sup>3</sup> < LC50 ryby $\leq$ 10 mg/dm <sup>3</sup>
	R52/53	szkodliwe	10 mg/dm <sup>3</sup> < LC50 ryby $\leq$ 100 mg/dm <sup>3</sup>
	R52	niebezpieczne dla środowiska	nie zakwalifikowane do grupy R52/53
	R53	możliwość kumulowania się w środowisku wodnym	niezakwalifikowane do grupy R52/53 lub R52
Ssaki	1 klasa	truczny	LC $\leq$ 50 mg/kg
	2 klasa	truczny	LC 51 - 150 mg/kg
	3 klasa	szkodliwe	LC 151 - 500 mg/kg
	4 klasa	szkodliwe	LC 501 - 5000 mg/kg
	5 klasa	nieszkodliwe	LC $\geq$ 5000 mg/kg

gdzie: LC – stężenie śmiertelne; LC50 – stężenie letalne, przy którym ginie 50% populacji.

### 3. Ocena ryzyka związanego ze stosowaniem pestycydów

W krajach Unii Europejskiej warunkiem pozwolenia na rejestrację danego pestycydu i wprowadzenie go do obrotu jest określenie skuteczności preparatu oraz ocena zagrożenia dla człowieka i środowiska. Do dystrybucji dopuszczane są tylko te substancje, dla których przeprowadzone badania wykazały niewielki wpływ na zdrowie człowieka i środowisko. W przypadku stwierdzenia dużego zagrożenia wprowadzone zostają działania mające na celu ograniczenie stosowania danego pestycydu lub zakazu jego stosowania. Ocena ryzyka jest wprawdzie procedurą długotrwałą, wymagającą przeprowadzenia odpowiednich badań oraz przygotowania właściwych raportów, niemniej pogłębia wiedzę w zakresie danej substancji i umożliwia podjęcie stosownych decyzji [7, 9, 13].

W Polsce rejestrację pestycydów reguluje Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin opublikowana w Dzienniku Ustaw z 2008 r., Nr 133, poz. 849 ze zm. [18]. Zapisy tej ustawy są implementacją Dyrektywy 91/414/EEC [19]. Zgodnie z tymi przepisami, środki ochrony roślin mogą być dopuszczone do obrotu, jeśli:

- zostały zbadane niebezpieczne skutki dla środowiska,
- nie stwarzają zagrożenia dla ludzi i środowiska, jeżeli stosowane są zgodnie z informacjami zawartymi w instrukcji,
- nie oddziałują na organizmy, które nie są celem stosowania środków ochrony roślin,

- opakowanie do przechowywania środków ochrony roślin zostało oznakowane według określonych przepisów.

Jak już pisano na wstępie, ocena ryzyka obejmuje: identyfikację zagrożenia, ocenę zależności dawka - odpowiedź, ocenę narażenia oraz charakterystykę ryzyka.

### 3.1. Identyfikacja zagrożenia

Identyfikacja oraz charakterystyki zagrożenia polegają na określeniu właściwości toksycznych, dróg narażenia oraz mechanizmu działania. Pozwala to na określenie czy dane czynniki chemiczne mogą powodować wystąpienie szkodliwych oddziaływań zdrowotnych, takich jak nowotwory, czy zmiany mutagenne i teratogenne. Zgodnie z wytycznymi opracowanymi przez Międzynarodową Agencję do spraw Badań nad Rakiem czynniki rakotwórcze dzieli się na cztery grupy [13, 20]:

Grupa I - czynnik rakotwórczy dla ludzi,

Grupa II - czynnik prawdopodobnie rakotwórczy dla ludzi,

Grupa III - czynnik nienależący do żadnej z grup,

Grupa IV - czynnik nierakotwórczy.

W celu identyfikacji zagrożenia przeprowadza się badania laboratoryjne z wykorzystaniem charakterystycznych organizmów wskaźnikowych. Należą do nich badania: toksyczności krótkoterminowej, toksyczności ostrej, toksyczności podprzewlekłej, toksyczności przewlekłej i właściwości kancerogennych, toksyczności rozwoju i rozrodu, genotoksyczności oraz neurotoksyczności [7, 9].

### 3.2. Ocena zależności dawka - odpowiedź

Badania prowadzone w zakresie identyfikacji zagrożenia umożliwiają rozpoznanie relacji pomiędzy dawką substancji wchłoniętej a wystąpieniem skutków zdrowotnych, oszacowanie częstości występowania tych skutków oraz określenie wartości poziomów narażenia, które są dopuszczalne dla człowieka. W odniesieniu do pestycydów oblicza się następujące poziomy narażenia [7]:

- człowieka na pestycydy pozostałe w środkach spożywczych czyli ADI - akceptowane dobowe pobieranie oraz ARfD - ostra dawka referencyjna,
- pracowników, którzy wykonują prace agrochemiczne: AOEL - dopuszczalny poziom narażenia operatora.

ADI to ilość preparatu wyrażona w  $\text{mg}/\text{kg} \times \text{d}$ , która może być wchłonięta przez człowieka drogą pokarmową przez cały okres życia, nie stwarzając zagrożenia dla jego zdrowia. Wartość ADI oblicza się w odniesieniu do człowieka o masie ciała 60 kg, z wyłączeniem kobiet w ciąży, osób starszych, niemowląt i dzieci. Wartość tę oblicza się za pomocą wzoru (1):

$$ADI = \frac{NOAEL}{UF} \text{ [mg/kg} \times \text{d]} \quad (1)$$

gdzie:

NOAEL - najwyższy poziom, przy którym nie zauważa się negatywnych skutków, mg/kg × d; UF - współczynnik bezpieczeństwa zwany również współczynnikiem niepewności - dla osób postronnych UF = 100, dla operatorów UF = 25.

Wyznaczając współczynnik bezpieczeństwa należy zwrócić uwagę na: różnice wrażliwości w odniesieniu do działania substancji w populacji ludzkiej, jak również niepewność wynikającą z badań przeprowadzonych na zwierzętach. Często zamiast NOAEL określający najwyższy poziom narażenia, przy którym nie obserwuje się skutków negatywnych wykorzystuje się LOAEL opisujący najniższy poziom narażenia, przy którym obserwuje się działanie niepożądane. Wartość współczynnika UF wynosząca 100 wynika z iloczynu dwóch współczynników wynoszących 10, z których jeden odnosi się do różnej wrażliwości gatunku na daną substancję a drugi do wrażliwości osobniczej. W przypadku najniższych oddziaływań negatywnych współczynnik bezpieczeństwa przyjmuje wartość 10, a gdy skutki są większe wartość może dojść do 1000. Przykładowo w odniesieniu do środka owadobójczego jakim jest heptachlor uwzględnia się współczynnik bezpieczeństwa, który wynosi 200. Jest to iloraz współczynnika przyjmującego wartość 100 (wynikającego z różnic międzygatunkowych i wewnątrzgatunkowych) oraz współczynnika o wartości 2 związanego z małą ilością danych dotyczących tego środka. Z kolei dla metolachloru (herbicyd), współczynnik bezpieczeństwa jest na poziomie 1000. Jest ilorazem współczynnika o wartości 100 wynikającego z różnic międzygatunkowych i wewnątrzgatunkowych oraz współczynnika o wartości 10 związanego z tym, że substancja ta może być kancerogenna [7, 21].

Ocenę zależności dawka - odpowiedź przeprowadza się także dla operatorów zabiegów agrochemicznych. Należy uwzględnić przy tym różne okoliczności, podczas których może dojść do kontaktu z pestycydami. Może to być np. przygotowywanie oprysku, rozcieńczanie, napełnianie opryskiwacza oraz przelewanie. Ocena ryzyka dla osób wykonujących zabiegi z wykorzystaniem pestycydów opiera się na wyznaczeniu wartości AOEL, czyli dopuszczalnego poziomu narażenia operatora. Wartość ta oznacza maksymalną ilość preparatu na jaką może być narażony człowiek bez wystąpienia niekorzystnych skutków zdrowotnych. Wartość AOEL oblicza się według wzoru (2) [22]:

$$AOEL = \frac{NOAEL_{\text{systemowy}}}{UF} \text{ [mg/kg} \times \text{d]} \quad (2)$$

gdzie:

NOAEL<sub>systemowy</sub> (mg/kg × d), oblicza się z iloczynu wartości NOAEL po narażeniu doustnym zwierząt doświadczalnych oraz biodostępności (3):

$$\text{NOAEL}_{\text{systemowy}} = \text{NOAEL}_{\text{doustny}} \times \text{Biodostępność (\%)} \quad (3)$$

UF - współczynnik niepewności lub bezpieczeństwa, dla operatorów przyjmuje się, że wartość UF = 25

Określenie wartości NOAEL dla operatorów wyznacza się uwzględniając wyniki badań toksyczności chronicznej, podostrej, ostrej, genotoksyczności, teratogenności, rozrodczości i neurotoksyczności. W przypadku formamidu, którego używa się przy produkcji pestycydów wartości NOAEL ustalono na podstawie wyników doświadczeń przeprowadzonych na zwierzętach wskaźnikowych jakimi są szczury, myszy i króliki. Uzyskane przykładowe wyniki przedstawiono w tabeli 2 [21].

Tabela 2. Wartości NOAEL i LOAEL formamidu dla ogólnej toksyczności [21]  
Table 2. NOAEL and LOAEL values of the formamide for the general toxicity

Gatunek zwierząt	Droga podania	Wartość NOAEL	Wartość LOAEL	Skutki
szczur	inhalacyjna	184	920	obniżenie ilości płytek krwi i limfocytów
	zgłębnikiem do żołądka	100	200	spadek masy ciała
mysz	<i>per os</i>	195	-	-
królik	zgłębnikiem do żołądka	70	140	spadek masy ciała, mniejsza ilość spożytej paszy, mniejsza ilość lub brak kału, większa ilość wcześniejszych porodów

W ocenie ryzyka wyznacza się także wartość AD, czyli ilości pestycydu, która w całości została wchłonięta przez organizm człowieka. Wartość tę oblicza się na podstawie wzoru (4):

$$AD = \frac{(DE \times DA) + (IE \times IA)}{70} \quad [\text{mg/kg} \times \text{d}] \quad (4)$$

gdzie:

DE - narażenie dermalne, mg/d; DA - absorpcja przez skórę, %; IE - narażenie inhalacyjne, mg/d; IA - wchłanianie inhalacyjne, %.

W ocenie ryzyka oblicza się także wartość ilorazu ryzyka IR według wzoru (5) i jeżeli jest mniejsza od jedności wtedy ryzyko jest możliwe do zaakceptowania [22, 23].

$$IR = \frac{AD}{AOEL} \quad (5)$$



### 3.3. Ocena narażenia

Ocena narażenia to określenie częstotliwości, wielkości i czasu trwania kontaktu organizmu z substancją niebezpieczną. Ważne jest również poznanie dróg narażenia, wieku i rodzaju populacji narażonej (np. kobiety w ciąży, osoby starsze, osoby chore, małe dzieci). Wynikiem tego etapu oceny ryzyka jest oszacowanie dawki wchłoniętej i dawki pobranej. Dawka wchłonięta to ilość pestycydów, która dostała się do organizmu przez np. płuca, skórę, przewód pokarmowy. Dawka pobrana to ilość pestycydu, która była w kontakcie z organizmem, mg pestycydu/kg/d. W tym etapie należy określić czy możliwe jest przekroczenie wartości: ADI (akceptowane dobowe pobieranie) oraz ARfD [7, 20]. ARfD to ostra dawka referencyjna, czyli ilość preparatu w pożywieniu i wodzie pitnej (mg/kg/d) która została pobrana w czasie nie przekraczającym 24 godzin i nie stwarza ryzyka dla zdrowia człowieka. Naukowy Komitet do spraw Roślin Unii Europejskiej nakazuje, aby ostra dawka referencyjna była określona dla każdego pestycydu. Wyjątkiem są środki, dla których na podstawie wyników badań toksykologicznych nie stwierdzono takiej potrzeby. Ustalona wartość ARfD jest równa lub większa od wartości ADI [7, 20].

Przykładowe badania w celu oceny ryzyka związanego ze spożywaniem produktów roślinnych przeprowadzono w laboratorium Instytutu Ochrony Roślin. Badania te obejmowały 120 związków w 1332 próbkach różnych warzyw oraz owoców. Aby określić ilość spożywanych przez człowieka pozostałości wykorzystano modele narażenia. Przykładowo w próbkach czarnej porzeczki najczęściej stwierdzano przekroczenia wartości NDP (czyli Najwyższe Dopuszczalne Poziomy pozostałości pestycydów) oraz wykrywano pestycydy, które wcześniej wycofano z użycia. Narażenie długoterminowe wynosiło 3% dopuszczalnej wartości ADI u ludzi dorosłych, a w przypadku małych dzieci - 10% ADI. W doświadczeniu narażenie krótkoterminowe obliczono dla substancji, które w produktach badanych przekraczały wartości NDP. Narażenie było najwyższe dla małych dzieci i wynosiło 129% ARfD i dotyczyło jabłek. W innych przypadkach narażenie było niskie lub akceptowalne. Badania te wskazały, że badane warzywa i owoce nie stwarzały zagrożenia dla zdrowia i życia. Jednak nie są wykonywane rutynowo i nie uwzględniono w nich oznaczania pozostałości pestycydów. Dlatego należy wprowadzić do zakresu obowiązkowych kontroli jak największą grupę substancji aktywnych i ich pozostałości i badaniami objąć także produkty sprowadzane do Polski z innych krajów [24].

### 3.4. Charakterystyka ryzyka

Charakterystyka ryzyka polega na zebraniu wszystkich informacji z w/w etapów w celu określenia jakościowego i ilościowego prawdopodobieństwa wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych [7]. W amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska EPA zaakceptowano te etapy oceny ryzyka w celu ograniczenia narażenia człowieka. Etapy te są również zgodne z założeniami Komisji Europejskiej

w sprawie ceny oddziaływania pestycydów i substancji chemicznych na środowisko oraz zdrowie człowieka. Ocena ryzyka związanego z wykorzystaniem pestycydów wchodzi w skład zarządzania ryzykiem. Jest to podejmowanie odpowiednich decyzji dotyczących zmniejszenia zagrożenia zdrowotnego oraz środowiskowego. Uregulowania prawne oparte są na określeniu ryzyka akceptowalnego. Jest to dopuszczalne społecznie ryzyko rakotwórcze. Najczęściej ryzyko to jest w zakresie od  $10^{-6}$  do  $10^{-4}$  co oznacza, że istnieje możliwość 1 zachorowania na raka na 100000 - 1000 ludzi w całej populacji [20].

#### 4. Modele matematyczne w prognozowaniu ryzyka

Głównym celem oceny ryzyka jest ochrona populacji i środowiska przed zagrożeniami związanymi z zastosowaniem pestycydów. Ich wpływ na zdrowie ludzi i środowisko zależy od rodzaju związku aktywnego, toksyczności oraz czasu narażenia. Do oceny ryzyka wykorzystuje się modele matematyczne, które umożliwiają wcześniejsze określenie, jaki będzie poziom narażenia. Są narzędziem do przewidywania narażenia na związki chemiczne, umożliwiając w ten sposób poprawną ekstrapolację wyników badań laboratoryjnych. Jednak doniesienia literatury w tym zakresie są nieliczne. Opisuje się głównie modele ekologiczne, które muszą być poddane modyfikacji tak, aby mogły zostać wykorzystane do oceny ryzyka narażenia na pestycydy [25].

W krajach Unii Europejskiej wykorzystuje się trzy modele do oceny ryzyka, które spełniają dane założenia [22, 25]:

- narażenie zależy od takich czynników jak: rodzaj substancji aktywnej biologicznie, typ urządzenia stosowanego do aplikacji, postaci preparatu (ciecz, proszek, granule) oraz środków ochrony osobistej,
- wielkość narażenia jest możliwa do oszacowania dzięki doświadczeniom polowym, w których stosuje się pestycydy w podobny sposób.

Takie założenia umożliwiają opracowanie programów komputerowych i dzięki wprowadzaniu danych toksykologicznych i informacji o sposobie użycia pestycydów można przeprowadzić ocenę ryzyka. I tak opracowano i stosuje się następujące modele [22]:

- model UK POEM - w tym modelu uwzględnia się dane opracowane w latach 70. oraz 80. z Wielkiej Brytanii,
- model BBA - w modelu wykorzystano informacje z lat 80. z badań przeprowadzonych w Niemczech,
- model EURO POEM - opracowany na podstawie danych z 2002 r. z państw należących do Unii Europejskiej.

W każdym z w/w modeli wprowadza się do oceny ryzyka pewne różne założenia. Przykładowo w modelach UK POEM oraz BBA zakłada się, że podczas mieszania i załadunku pestycydów kontakt organizmu z substancją zachodzi tylko

przez ręce. Model UK POEM nie uwzględnia narażenia inhalacyjnego, natomiast BBA nie posiada danych dla opryskiwaczy ręcznych [22].

## **5. Podsumowanie**

W ocenie ryzyka uwzględnia się identyfikację i charakterystykę zagrożenia, ocenę zależności dawka - odpowiedź oraz ocenę narażenia. Identyfikacja oraz charakterystyka zagrożenia polega na określeniu podstawowych wskaźników toksyczności, dróg narażenia oraz mechanizmu działania. Jest to niezbędne w celu oceny możliwości występowania szkodliwych oddziaływań zdrowotnych na organizmy. W celu identyfikacji zagrożenia ustala się relacje pomiędzy dawką substancji wchłoniętej a wystąpieniem skutków zdrowotnych, ich częstości występowania oraz określenie wartości poziomów narażenia takich jak ADI (akceptowane dobowe pobieranie) oraz ARfD (ostra dawka referencyjna). W odniesieniu do osób, którzy wykonują prace agrochemiczne wyznacza się dopuszczalny poziom narażenia operatora (AOEL). Ponadto w celu oceny ryzyka wyznacza się także wartość AD (ilości pestycydu, która została wchłonięta przez organizm człowieka) oraz wartość ilorazu ryzyka IR pozwalająca na określenie akceptowalności ryzyka. Ocena narażenia natomiast, to określenie częstotliwości, wielkości, dróg wnikania oraz czasu trwania kontaktu organizmu z substancją aktywną. Wynikiem tego etapu oceny ryzyka jest oszacowanie dawki wchłoniętej i dawki pobranej. Na podstawie w/w wskaźników można dokonać charakterystyki ryzyka poprzez określenie jakościowego i ilościowego prawdopodobieństwa wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych. Wyniki badań laboratoryjnych wykorzystuje się do matematycznego prognozowania poziomu narażenia człowieka na ryzyko.

Należy podkreślić, że zakres substancji biologicznie aktywnych jakie są składnikami pestycydów jest szeroki. Największe zagrożenie dla środowiska i człowieka stanowią związki chloroorganiczne. Większość z nich zostało wycofane z użycia, lecz często stosowane są pochodne tych związków. Dlatego w środowisku wciąż identyfikowane są pozostałości i metabolity. Badania jednak są fragmentaryczne i na obecnym etapie wiedzy i aparatury nie jest możliwe określenie wszystkich związków jakie powstały lub mogą powstawać w środowisku. Obecnie nie jest możliwe także całkowite ograniczenie stosowania pestycydów, gdyż spełniają nieocenioną rolę w ochronie upraw rolniczych i sadowniczych. Z tego względu należy podejmować działania zmniejszające ryzyko środowiskowe i zdrowotne wynikające z konieczności ich stosowania. Zastępuje się więc składniki o wysokiej toksyczności (chloroorganiczne) innymi substancjami aktywnymi, których działanie jest podobne, ale toksyczność na inne organizmy - mniejsza. Podstawową trudnością jest to, że pestycydy są specyficznymi związkami, które są stosowane w celu wywołania efektu toksycznego w odniesieniu do szkodników, lecz ważne jest zapewnienie ich selektywnego działania. Jest to trudne do osiągnięcia i dlatego stosowanie zawsze związane jest z ryzykiem środowiskowym a także zdrowotnym.

## LITERATURA

- [1] Sadecka Z.: *Pestycydy w ściekach i osadach ściekowych*, Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2003, s. 308-316.
- [2] *Mały Rocznik Statystyczny Polski 2015* - Główny Urząd Statystyczny, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2015.
- [3] Wrzosek J., Gworek B., Maciszek D.: *Środki ochrony roślin w aspekcie ochrony środowiska*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 2009, nr 39, s. 75-88.
- [4] Pacak A., Malina G.: *Ocena biodostępności pestycydów chloroorganicznych w osadach dennych*, Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2004, s. 261-269.
- [5] Makles Z., Domański W.: *Ślady pestycydów - niebezpieczne dla człowieka i środowiska*, Bezpieczeństwo Pracy, 2008, nr 1, s. 5-9.
- [6] Zyska A., Konodyba-Szymańska M.: *Wpływ środków ochrony roślin na środowisko i organizm człowieka*, Materiały konferencji Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia przy stosowaniu substancji chemicznych w pracy, Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2014.
- [7] Struciński P., Góralczyk K., Czaja K., Hernik A., Korcz W., Ludwicki J.K.: *Ocena ryzyka związana z narażeniem na pozostałości pestycydów w żywności pochodzenia roślinnego na etapie rejestracji środka ochrony roślin*, Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 2006, t. 57, nr 4, s. 303-315.
- [8] Dziennik Ustaw 2009 r. nr 14, poz. 76: *Umowa międzynarodowa Konwencja Sztokholmska w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych, sporządzona w Sztokholmie dnia 22 maja 2001 r.*
- [9] Noworyta-Głowacka J., Bańkowski R., Wiadrowska B., Ludwicki J.K.: *Ocena toksykologiczna środków ochrony roślin w procesie rejestracyjnym UE*, Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 2010, t. 61, nr 1, s. 1-6.
- [10] Dziennik Ustaw L 299 z 28.10.2006 - Decyzja Rady 2006/730/WE z dnia 25 września 2006 r. *dotycząca zawarcia, w imieniu Wspólnoty Europejskiej, Konwencji rotterdamskiej w sprawie procedury zgody po uprzednim poinformowaniu w międzynarodowym handlu niektórymi niebezpiecznymi substancjami chemicznymi i pestycydami.*
- [11] Dziennik Ustaw L 204 z 31.7.2008 - Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 689/2008 z dnia 17 czerwca 2008 r. *dotyczące wywozu i przywozu niebezpiecznych chemikaliów.*
- [12] Wiaderna D.: *Ogólne zasady oceny ostrej i przewlekłej toksyczności środków ochrony roślin dla organizmów wodnych*, Biuletyn Biura do Spraw Substancji Chemicznych, 2011, nr 3, s. 2-6.
- [13] Bielasik-Rosińska M., Gworek B., Barański A.: *Badania ekotoksykologiczne stosowane w ocenie substancji czynnych i produktów biobójczych*, Instytut Ochrony Środowiska, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2010.

- [14] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi: *Krajowy plan działania na rzecz ograniczenia ryzyka związanego ze stosowaniem środków ochrony roślinna lata 2013 - 2017*, Warszawa 2012.
- [15] Komisja Europejska: *Wspólnotowa polityka w zakresie zrównoważonego wykorzystania pestycydów. Uzasadnienie strategii*, Luksemburg 2007.
- [16] Wierzbicki T.L.: *Wpływ środków ochrony roślin na środowisko człowieka*, Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka, Częstochowa 2004, s. 261-269.
- [17] Sadecka Z.: *Toksyczność w procesie beztlenowej fermentacji komunalnych osadów ściekowych*, Monografie PAN, t. 105, Zielona Góra 2013.
- [18] Dziennik Ustaw 2008 r., nr 133, poz. 849 ze zm.: *Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o ochronie roślin*.
- [19] Dyrektywa 91/414/EEC: *Dyrektywa Rady z dnia 15 lipca 1991 roku nr 91/414/EWG dotycząca wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin*.
- [20] Wcisło E.: *Ocena ryzyka zdrowotnego w procesie remediacji terenów zdegradowanych chemicznie - procedury i znaczenie*, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowych, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2009.
- [21] Jankowska A., Czerczak S.: *Formamid. Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego*, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2010, nr 2 (64), s. 131-151.
- [22] Ludwicki J., Bańkowski R., Wiadrowska B.: *Ocena ryzyka narażenia na pestycydy operatorów zabiegów agrotechnicznych*, Roczniki Państwowego Zakładu Higieny 2003, nr 54 suplement, s. 45-47.
- [23] Jarecki W., Bobrecka-Jamro D.: *Zużycie środków do produkcji rolniczej w Polsce w kontekście retardacji przemian rolniczej przestrzeni produkcyjnej*, Inżynieria Ekologiczna nr 34, 2013, 121-128.
- [24] Nowacka A., Gnusowski B.: *Bezpieczeństwo zdrowotne polskich płodów rolnych w aspekcie pozostałości środków ochrony roślin stosowanych do ich ochrony*, Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin, 49 (4) 2009, 1895-1902
- [25] Schmolke A., Thorbek P., Chapman P., Grimm V.: *Ecological Models And Pesticide Risk Assessment: Current Modeling Practice*, Environmental Toxicology and Chemistry, 2010, vol. 29, nr 4, 1006-1012.