

Wstęp

Słowem ryzyko posługujemy się w wielu sytuacjach życia codziennego. Terminu tego używamy powszechnie na określenie wielu sytuacji lub stanów, jak: stan zagrożenia, możliwość wystąpienia zdarzenia nieprzewidzianego, możliwość poniesienia straty albo uzyskania wyniku odmiennego od oczekiwanego.

Najogólniej, ryzyko jest pewnym wskaźnikiem stanu lub zdarzenia, które może doprowadzić do strat. Potocznie jest rozumiane jako miara zagrożenia lub niebezpieczeństwa, wynikającego albo z prawdopodobnych zdarzeń od nas niezależnych albo z możliwych konsekwencji podjęcia decyzji. Podejmując więc decyzję w sytuacji uznanej za ryzykowną bierzemy pod uwagę zarówno możliwość (prawdopodobieństwo) wystąpienia takiego zdarzenia, jak i wielkość strat, które może ono spowodować. Im większa możliwość, czyli prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zdarzenia oraz im większe mogą być straty, tym większe jest ryzyko. Taka ocena ma prowadzić do odpowiedzi na kluczowe pytanie: czy podjąć ryzyko i wkroczyć tym samym w sferę niebezpieczeństwa, czy też nie podejmować takiego ryzyka? Konieczność odpowiedzi na to pytanie dotyczy każdego z nas w sytuacjach życia codziennego; wtedy decyzję podejmujemy indywidualnie, najczęściej intuicyjnie, rzadziej opierając się na własnych doświadczeniach. Ta indywidualność odzwierciedla się w naszym podejściu do ryzyka. W konsekwencji, o naszych reakcjach na różne rodzaje ryzyka, w znacznym stopniu decydują czynniki psychologiczne, i niektóre obawy są bardzo specyficzne w stosunku do poszczególnych postaci ryzyka.

Problem ten znacznie komplikuje się, gdy znajdziemy się lub mamy się znaleźć w sytuacji ryzykownej, a decyzji o tym nie podejmujemy sami. Innymi słowy, gdy zostaniemy niejako zmuszeni do podejmowania ryzyka, niezależnie od naszej indywidualnej jego oceny. Takie sytuacje są cechą charakterystyczną współczesnego życia, w którym wiele z podejmowanych działań i decyzji jest postrzegana przez społeczeństwo jako związanych z ryzykiem. W rezultacie, coraz więcej ludzi jest zaniepokojonych ryzykiem. Widzą się oni bowiem jako narażeni na poważne rodzaje ryzyka, bardziej aniżeli ludzie w przeszłości i przeważają opinie, że taki stan wciąż ulega bardziej pogorszeniu niż polepszeniu.

Jest to spowodowane coraz większym publicznym zainteresowaniem jakością życia, które ogólnie można określić jako przejaw pragnień związanych z życiem wolnym od niezamierzonego, czy niekontrolowanego ryzyka. Odzwierciedleniem tego są:

- społeczne żądania bezpieczniejszych warunków pracy, bardziej czystego środowiska, bezpieczniejszej żywności i produktów codziennego użytku
- wzrost częstości żądań o wyjaśnienie, czy działania w zakresie ryzyka są akceptowalne dla społeczeństwa
- zwiększony nacisk na nowe podejście w regulacjach prawnych dotyczących ryzyka.

Z drugiej natomiast strony, choć brzmi to paradoksalnie, społeczne oczekiwania i żądania podnoszenia poziomu życia wymagają, a nawet zmuszają do wprowadzania nowych technologii i produktów. Nie zawsze jednak oznacza to zwiększenie bezpieczeństwa. W wielu takich przypadkach wiąże się to z nowym rodzajem ryzyka i nie jest możliwe eliminowanie zagrożenia przez odpowiednie środki bezpieczeństwa.

Ta rozbieżność pomiędzy koniecznością podejmowania ryzyka a nastawieniem społecznym ma obecnie decydujący wpływ zarówno na samą ocenę ryzyka, jak i na decyzje o dalszym postępowaniu. Ocena ryzyka nie może już opierać się tylko na indywidualnych odczuciach

czy doświadczeniach, lecz musi stosować techniki i metody, które przy obecnym stanie wiedzy oszacują rzeczywiste zagrożenie i wskażą sposoby jego eliminacji lub co najmniej zmniejszenia.

Ryzyko chemiczne

Jednym z elementów naszego życia, który w powszechnej opinii stwarza ryzyko dla zdrowia, a nawet życia ludzi, jest szeroko pojęta chemizacja życia i związana z tym obecność coraz większej ilości związków chemicznych w otaczającym nas świecie. Mimo iż wytwarzane przez człowieka chemikalia są używane powszechnie w codziennym życiu i dostarczają istotnych korzyści współczesnym społeczeństwom, to bardzo często uważa się, że są one źródłem każdej możliwej choroby, od różnego rodzaju alergii aż do chorób nowotworowych.

Zagrożenia chemiczne są więc postrzegane jako wiążące się z ryzykiem, którego szkodliwe efekty nie zawsze są dobrze znane, oddalone w czasie, niedobrowolne, ale narzucone. Taka sytuacja budzi społeczny niepokój i żądania naprawy stanu rzeczy. Obawy głównie koncentrują się na naturze i wielkości ryzyka związanego z chemikaliami, oraz na możliwym jego uniknięciu lub co najmniej zmniejszeniu.

Chociaż obawy te nie zawsze są uzasadnione, gdyż nie wszystkie chemikalia stwarzają zagrożenie, to nie można lekceważyć wzrastającego ich udziału w naszym życiu codziennym i możliwych niepożądanych skutków ubocznych. Wiele bowiem substancji, uważanych poprzednio za obojętne czy nieszkodliwe dla zdrowia, wywoływało jednak nieprzewidziane szkodliwe skutki. Jest więc oczywiste, że niezbędna jest ocena, jakiego rodzaju i jak duże zagrożenia stwarzają chemikalia i związane z tym ryzyko powstawania szkodliwych efektów. Konsekwencją tego, mimo ograniczonej jeszcze wiedzy o szkodliwym działaniu wielu substancji, w krajach rozwiniętych wprowadzono systemy prawne, których celem jest eliminowanie lub przynajmniej minimalizowanie ryzyka związanego z produkcją i użytkowaniem chemikaliów. Środkiem zapewniającym realizację takiego celu jest ocena ryzyka. Ocena taka musi być przeprowadzana zgodnie z aktualnym ustawodawstwem Unii Europejskiej, które przewiduje ocenę zagrożenia na każdym etapie produkcji i stosowania chemikaliów, a także dla różnych warunków kontaktu (ekspozycji) ludzi i środowiska na chemikalia, przede wszystkim w celu kontrolowania ich stężeń na bezpiecznym poziomie.

Rodzaje i źródła zagrożeń chemicznych

Zagrożenie chemikaliami wiąże się z faktem, że nie tylko z procesów produkcyjnych, ale także z produktów, związki chemiczne mogą wnikać do środowiska. W rezultacie, wraz z produktami ich rozkładu, w coraz większych ilościach pojawiają się w powietrzu, wodzie i glebie, skąd mogą wnikać do łańcucha pokarmowego ludzi. Ponadto, niektóre z tych związków są bardzo trwałe i mogą być przenoszone na znaczne odległości od źródła emisji. Taka sytuacja stwarza zagrożenia, które mogą pojawiać się na wielu obszarach, a zagrożone są populacje ludzkie i środowisko.

Cechą charakterystyczną chemikaliów jest nie tylko możliwość wywoływania szkodliwych efektów u ludzi czy składników środowiska, ale także charakter takich oddziaływań. Są one z natury specyficzne, tzn. wywołują określone efekty, a także:

- mogą wystąpić zarówno w bezpośrednim sąsiedztwie źródła emisji, jak i w znacznej odległości

- mogą wystąpić natychmiast albo dopiero po pewnym czasie (np. dzięki zdolności samoobronnym organizmu)
- różne grupy ludzi lub gatunki zwierząt w środowisku mogą być narażone w inny sposób
- jeżeli dotyczą przyszłości, to są związane z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia, ale nie ma pewności, ani co do wystąpienia w ogóle, ani co do efektów oddziaływań
- niektóre oddziaływania są nieodwracalne w skutkach, a inne mogą być odwracalne naturalnie lub sztucznie.
Ostateczny efekt będzie więc wynikiem kombinacji cech specyficznych i charakteru oddziaływań.

Ocena ryzyka chemicznego

Cele i zakres oceny ryzyka chemicznego

Ogólnym celem oceny każdego rodzaju ryzyka jest znalezienie odpowiedzi na pytania:

1. Jak prawdopodobne jest wystąpienie danego zdarzenia?
2. Jeżeli zdarzenie wystąpi, to jak szkodliwe byłoby w ujęciu ilościowym?

W ocenie ryzyka wywołanego substancjami chemicznymi przyjmuje się, że związane z nimi zagrożenie już wystąpiło lub wystąpi w przyszłości, tzn. przy założeniu, że dane substancje już są lub będą stosowane. Wobec tego nie określa się prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia substancjami chemicznymi, lecz określa się wielkość istniejącego lub przewidywanego zagrożenia, i porównuje z zagrożeniem, które nie wywołuje ujemnych efektów.

Ryzyko związane z substancjami chemicznymi zależy od następujących czynników:

- ilości związku chemicznego w produkcie lub w medium środowiskowym (woda, powietrze, gleba)
- czasu kontaktu (ekspozycji) człowieka z produktem lub zanieczyszczonym medium środowiskowym
- toksycznych właściwości związku chemicznego.

Ocena ryzyka dla zdrowia ludzi przy zagrożeniach chemicznych ma oszacować naturę i możliwość wystąpienia ujemnego efektu zdrowotnego u ludzi, którzy mogą być narażeni na ekspozycję chemikaliów w produktach lub mediach środowiskowych teraz lub w przyszłości.

Aby to wyjaśnić, ocena ryzyka musi dać więc odpowiedź na szereg pytań, np.:

- na ekspozycję jakich związków chemicznych są lub będą narażeni ludzie, a także przy jakim poziomie stężeń i jak długo?
- jakiego typu problemy zdrowotne mogą wynikać z używania rozważanych związków chemicznych?
- czy istnieje poziom stężeń, poniżej którego dane związki chemiczne nie powodują ryzyka dla zdrowia?
- czy są ludzie, lub grupy ludzi, bardziej podatni na działanie rozważanych związków chemicznych, biorąc pod uwagę czynniki jak: wiek, genetyka, występujące uprzednio warunki zdrowotne, praktyki etniczne, płeć itp.?
- czy są ludzie, lub grupy ludzi, bardziej podatni na narażenie na dane związki ze względu na takie czynniki, jak: miejsce pracy i odpoczynku, dieta itp.?

Odpowiedzi na takie pytania pomagają zrozumieć i ocenić znaczenie chemicznej ekspozycji i związanego z tym ryzyka dla zdrowia ludzi. Mają dostarczyć informacji o potrzebie i rodzaju działań ochronnych.

Zakres i natura oceny ryzyka są bardzo szerokie – od oddziaływań na duże populacje ludzi (np. w skali ogólnokrajowej) aż do oddziaływań w specyficznych warunkach lokalnych. Niektóre z ocen są retrospektywne, tzn. skupiające się na uszkodzeniach czy szkodach już po fakcie ich wystąpienia; inne podejmują próby przewidzenia możliwych przyszłych zagrożeń dla zdrowia ludzi lub środowiska, np. jakie jest oczekiwane ryzyko, jeśli nowy pestycyd zostanie zaaprobowany do stosowania w uprawie.

Obowiązująca procedura oceny ryzyka chemicznego¹

Na ocenę ryzyka związanego z substancjami chemicznymi składają się cztery kolejne etapy: (1) identyfikacja zagrożenia, (2) ocena zależności dawka-efekt, (3) ocena ekspozycji i (4) charakterystyka ryzyka.

I. Identyfikacja zagrożenia

Wykorzystując dostępne dane, identyfikuje się potencjalne szkodliwe efekty zdrowotne, które dana substancja może wywoływać. Pod uwagę bierze się efekty związane zarówno z toksycznymi jak i fizykochemicznymi właściwościami substancji. Identyfikuje się zagrożenie związane z następującymi grupami potencjalnych efektów:

- podrażnienia
- uczulenia
- działania żrące
- toksyczność ostra (po jednorazowej ekspozycji)
- toksyczność na dawki długotrwałe
- kancerogenność
- mutagenność
- toksyczność dla reprodukcji.

Rodzaje efektów określa się na podstawie odpowiednich testów (dotyczy to zwłaszcza substancji nowych); można również wykorzystać dostępne bazy danych.

2. Ocena zależności dawka (stężenie) – efekt (odpowiedź)

Po zidentyfikowaniu zagrożenia, kolejnym etapem jest określenie zależności pomiędzy dawką (ilością substancji pobranej w określonym okresie) lub poziomem ekspozycji (bezpośrednim kontaktem w określonym okresie) na daną substancję, a zakresem oraz ostrością wywołanego przez nią efektu lub odpowiedzi organizmu.

Ze względu na działanie chemikaliów na organizm, można je podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zalicza się takie, w przypadku których uważa się, że powodowane przez nie ujemne skutki zdrowotne nie ujawniają się, dopóki dana substancja lub aktywny metabolit nie osiągną progowego stężenia w odpowiednim organie. Osiągnięcie takiego stężenia jest związane z poziomem ekspozycji organizmu (człowieka lub testowanego zwierzęcia) na daną substancję. Innymi słowy, musi zostać osiągnięty progowy poziom ekspozycji zanim wywołany zostanie efekt. Dla tych chemikaliów celem tego etapu jest wyznaczenie progowych wartości dawki lub stężenia. Określa się je z wykresu dawka-efekt, obrazującego zależność pomiędzy wielkością dawki, a wielkością wywołanych zmian biologicznych, np. zmiany wagi ciała, ciśnienia krwi, poziomu enzymów wytwarzanych przy wrastającej dawce czy zwiększenie podrażnienia skóry.

Wykorzystuje się do tego wszystkie dostępne dane o zależności dawka (stężenie) – efekt, a więc:

- dane otrzymane z udziałem ludzi (testy, dane z ekspozycji ludzi zawodowo narażonych, raporty z wypadków itp.)
- dane otrzymane bez udziału ludzi (testy na zwierzętach)
- zależność między strukturą związku a jego aktywnością.

Przy określaniu wartości progowych uwzględnia się prawdopodobne drogi, czas trwania i częstotliwość ekspozycji. W zależności od celu i zakresu oceny, może również wystąpić konieczność określenia ich dla wszystkich, lub wybranych grup społecznych, jak pracownicy, konsumenci, ludność narażona *via* środowisko drogami pośrednimi, a nawet takich grup, jak osoby starsze, dzieci czy kobiety w ciąży.

Do drugiej grupy zalicza się związki, które wywołują ujemne skutki przy każdej dawce lub stężeniu, tj. niecharakterystycznych się wartością progową. Zaliczają się do niej związki, które oddziałują poprzez mechanizmy, dla których nie można zidentyfikować war-

¹ Obowiązująca w Unii Europejskiej kontrola poziomu ryzyka dla substancji chemicznych zawarta jest w Rozporządzeniu (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18.XII.2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielenia zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), a procedura przeprowadzania oceny ryzyka w *Technical Guidance Document on Risk Assessment*, Brussels: The European Commission, 2003

tości progowych (kancerogenność, mutagenność, toksyczność dla reprodukcji). Dla takich związków wyznacza się zależności dawka-(stężenie) – odpowiedź, którą w tym przypadku jest liczba osobników w testowanej populacji wykazujących dany efekt, np. liczba osobników zmarłych, czy osobników ze zmianami nowotworowymi. Zależność tę można więc zdefiniować jako wykres prawdopodobieństwa wystąpienia efektu od dawki.

3. Ocena ekspozycji

Przez ekspozycję rozumie się bezpośredni kontakt organizmu z chemicznym, fizycznym lub biologicznym czynnikiem, i określa ilością danego czynnika wchłoniętą przez organizm. W przypadku związków chemicznych odpowiada to ilości substancji wchłoniętej z pokarmem, w tym również z wodą, całkowitej ilości substancji w kontakcie ze skórą (obliczaną z ilości w kontakcie z jednostkową powierzchnią) oraz, zależnie od potrzeb, albo ilości wchłoniętej z powietrzem przez oddychanie albo jej stężeniu w powietrzu. Jeżeli ekspozycja zachodzi na wielu drogach, np. z wdychanym powietrzem i pożywieniem, należy określić całkowite obciążenie organizmu. Ekspozycję rozpatruje się jako pojedyncze zdarzenie, serię zdarzeń (w tym częstotliwość i czas trwania) albo jako ekspozycję ciągłą.

Ocena ekspozycji polega na oszacowaniu dawki substancji, na którą dana populacja jest lub może być narażona. Te populacje mogą być tak ogólne, jak społeczeństwo jako całość, dla pewnych szeroko rozprowadzanych materiałów (np. dodatki do żywności, środki higieny osobistej, artykuły chemii gospodarczej) lub tak ograniczone, jak pewne grupy użytkowników lub pracowników (np. produkujących lub stosujących pestycydy).

Pytania podnoszone w analizie ekspozycji uwzględniają prawdopodobne źródło zanieczyszczenia (gazy ze spalarni, strumienie ścieków z fabryki, stosowanie pestycydów), jego stężenie w źródle emisji, jego drogi rozprzestrzeniania się w środowisku (media środowiskowe, produkty) – od źródła do narażonej populacji, i aktualny poziom w narażonym organizmie. Ocena ekspozycji wykorzystuje wiele rodzajów informacji, w tym również dotyczące stylów życia danej populacji ludzi.

Pod uwagę bierze się następujące populacje ludzi (przyjmując przy tym, że każda z nich może być narażona poprzez wdychanie, drogą pokarmową oraz kontakt ze skórą): pracownicy, konsumenci, ogół ludności na obszarze objętym oceną.

Pracownicy

Stosunkowo najmniejsze trudności sprawia ocena ekspozycji w miejscach związanych z produkcją dla ludzi zawodowo związanych z zagrożeniami chemicznymi. Dotyczy ona bowiem niewielkiej, względnie mało zróżnicowanej wiekowo i zdrowotnie populacji. Choć w takich warunkach substancja może wnikać do organizmu przez układ oddechowy, pokarmowy czy w kontakcie ze skórą, to rzeczywiste drogi wnikania, podobnie jak i ilość wchłanianej substancji, są lub mogą być na ogół dobrze zidentyfikowane. Praktycznie są to układ oddechowy i kontakt ze skórą, a ilość wchłanianej substancji i czasowa charakterystyka ekspozycji są łatwe do wyznaczenia z danych pomiarowych.

Konsumenci

Drugą grupą narażoną na działanie substancji chemicznych są konsumenci. Konsument, tj. członek społeczności lokalnej, regionalnej czy nawet krajowej, dowolnego wieku, płci i stanu zdrowia, może być narażony na ekspozycję przez stosowanie, czy użytkowanie produktów dostępnych na rynku. Produktami mogą być zarówno same substancje chemiczne jak i wyroby je zawierające, a ten sam produkt, czy substancja, mogą być użyte do więcej niż jednego celu. Przyjmuje się również, że u konsumentów możliwe są wszystkie rodzaje ekspozycji, tj. przez inhalację, kontakt ze skórą oraz drogą pokarmową. Wynika stąd, że ocena ekspozycji konsumentów jest bardzo ograniczona, gdyż

nie ma możliwości ani jej monitorowania, ani kontrolowania po sprzedaży produktu. Z tego względu do oceny ekspozycji mogą być wykorzystane tylko takie dane, które charakteryzują sytuacje przeciętne. Do niezbędnych danych należą:

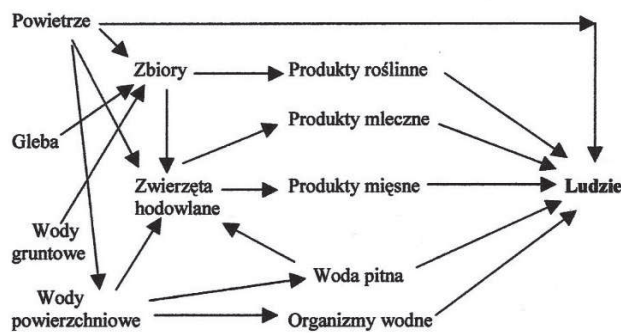
- 1) dane dotyczące kontaktów z produktem:
 - częstotliwość używania produktu
 - jednorazowy czas używania produktu
 - miejsce używania produktu, włączając wielkość pomieszczenia i szybkość wymiany powietrza.
- 2) dane dotyczące stężeń:
 - udział masowy substancji w produkcie
 - stężenie substancji w produkcie przy danym sposobie jego używania, np. po rozcieńczeniu, odparowaniu.
- 3) dane o używaniu produktu:
 - postać fizyczna produktu (gaz, ciecz, proszek, kryształy, aerozol itp.)
 - ilość produktu zużywana jednorazowo
 - powierzchnia kontaktu z produktem
 - zamierzone użycie produktu.
- 4) możliwość ekspozycji innych osób, w tym zwłaszcza dzieci, podczas używania produktu.

Różnorodność produktów, i ich zastosowań, powoduje, że niezbędne dane dotyczące wartości ekspozycji są najczęściej niedostępne, a w najlepszym przypadku fragmentaryczne i niepewne. Dlatego przy ich wykorzystywaniu zawsze bierze się pod uwagę:

- czy dane pomiarowe są reprezentatywne dla ekspozycji całej badanej grupy konsumentów?
- czy odzwierciedlają rzeczywisty scenariusz ekspozycji?
- czy opisują dające się przewidzieć użycie produktu?
- czy odzwierciedlają cały zakres przewidywanych ekspozycji, czy tylko jego część lub pojedynczą wartość?

Ludzie narażeni drogami pośrednimi *via* środowisko

Równie duże, jeżeli nie większe, trudności nastrocza oszacowanie ryzyka dla ludzi drogami pośrednimi przez środowisko. Ekspozycja może bowiem występować przez konsumpcję żywności (wyroby mięsne, zbożowe, mleczne, ryby, owoce, warzywa itd.), wody pitnej i drogą oddechową. Różne drogi ekspozycji zilustrowano na schemacie I.



Schemat I. Schemat dróg ekspozycji ludzi drogami pośrednimi przez środowisko

Ze schematu I widać, że kluczowe są stężenia w powietrzu, glebie, wodach gruntowych i powierzchniowych. Są to bowiem komponenty środowiska, do których wprowadza się zanieczyszczenia oraz z których przenikają one różnymi drogami do organizmu człowieka. Wartości tych stężeń można otrzymać z bezpośrednich pomiarów, jednak najczęściej oblicza się je za pomocą dostępnych modeli, wykorzystujących właściwości fizykochemiczne substancji, w tym zwłaszcza współczynniki podziału międzyfazowego. W obliczeniach uwzględnia się fakt, że na wartości stężeń w pobieranych mediach wpływają nie tylko stężenia w wyjściowych ośrodkach środowiska, ale także ścieżki i dynamika przenikania substancji do innych ośrodków oraz reakcje i przemiany, którym one wtedy ulegają.

Ekspozycję określa się według następującej procedury:

- oszacowanie stężenia substancji w pobieranych mediach (żywność, woda pitna, powietrze)
- oszacowanie dziennego poboru każdego z mediów
- obliczenie ilości substancji pobieranej z każdym z mediów.

Ekspozycja przez drogi oddechowe

Ta droga ekspozycji może mieć znaczący udział w ekspozycji całkowitej dla związków lotnych. Ich stężenie w powietrzu może być albo zmierzone, albo obliczone z modeli rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń gazowych w atmosferze. Natomiast dla objętości wdychanego powietrza przyjmuje się wartości typowe dla różnych rodzajów aktywności oraz poszczególnych grup wiekowych.

Należy jednak zaznaczyć, że istotny wpływ (oprócz stężeń) na ilość substancji wnikaącej tą drogą do organizmu ma rzeczywisty scenariusz ekspozycji, tj. czy jest to ekspozycja ciągła, krótkotrwała, całoroczna, sezonowa itp.

Ekspozycja przez wodę pitną

Woda pitna może być przygotowywana z obydwu rodzajów wód, gruntowych lub powierzchniowych, i obydwa te rodzaje mogą być zanieczyszczone – wody gruntowe związkami wyplukiwanymi z powierzchniowych warstw gleby, a wody powierzchniowe bezpośrednio lub pośrednio wprowadzanymi związkami chemicznymi. Przy niedostatecznej sprawności metod oczyszczających i niedostatecznej kontroli mogą one przenikać do systemów sieci wodociągowej (szczególnie dotyczy związków organicznych).

Ilość przyjmowanej wody przyjmuje się na poziomach typowych dla poszczególnych grup wiekowych. Np. dla osób dorosłych wartością średnią jest 2 dm³/dobę, natomiast dla dzieci odpowiednio niższą, zależnie od wieku.

Ekspozycja przez żywność

Bezpośrednie pomiary stężeń w produktach żywnościowych, chociaż technicznie nieprzedstawiające trudności, są mało przydatne i tylko w nielicznych przypadkach mogą być wykorzystane do oceny ekspozycji. Przyczyną tego są znaczne rozbieżności w danych pomiarowych dla tych samych produktów. Dlatego do oszacowania stężenia w produktach żywnościowych wykorzystuje się dostępne modele, które na podstawie stężeń w powietrzu, wodzie lub glebie pozwalają obliczyć stężenie w produkcie. W modelach, oprócz stężeń w podstawowych komponentach środowiska, wykorzystuje się dodatkowe parametry charakteryzujące proces przenikania związków chemicznych do produktu.

Znaczne trudności sprawia oszacowanie ekspozycji dla produktów roślinnych, które stanowią główną masę żywnościową zarówno ludzi jak i zwierząt. Wynikają one z ogromnej różnorodności uprawianych roślin i owoców, różnych warunków ich ekspozycji na substancje chemiczne, zróżnicowanym poborze substancji ze środowiska przez poszczególne partie rośliny oraz z różnych fragmentów roślin wykorzystywanych jako pożywienie. Dlatego też stężenia w materiale roślinnym oblicza się za pomocą współczynników podziału danej substancji, jako wartości przeciętne dla określonych grup roślin lub ich fragmentów.

Ze względu na zróżnicowanie ilościowego i jakościowego składu przyjmowanych pokarmów, do oceny dziennej dawki całkowitej, czyli ekspozycji na daną substancję, przyjmuje się pewien standardowy koeficient żywieniowy.

Ogólnie biorąc, metody oparte na modelach, z uwagi na niedostateczną znajomość i brak danych o procesach przenikania, dają wartości szacunkowe, bardzo często obciążone dużym stopniem niepewności. Nie mniej jest to w wielu przypadkach jedyna droga do oszacowania ekspozycji przez produkty żywnościowe.

Z przedstawionej procedury widać, że ocena ekspozycji jest głównym, a jednocześnie sprawiającym największe trudności, etapem oce-

ny ryzyka. Źródłem trudności jest nie tylko różnorodność obiektów i sytuacji, lecz także bardzo często zbyt mała ilość lub zupełny brak danych. Ponieważ na ekspozycję mogą być narażone różne populacje ludzi (pracownicy, konsumenci, ogół ludności na danym obszarze), należy określić poziomy ekspozycji (stężenia) dla każdej z nich, a często nawet dla sub-populacji w ich obrębie. Należy brać pod uwagę takie czynniki, jak: częstotliwość i czas trwania ekspozycji, ścieżkę ekspozycji, praktyki i zwyczaje ludzi itp. Ponadto, należy również uwzględnić przestrzenną skalę ekspozycji (personalną/lokalną/regionalną). W rezultacie, najczęściej otrzymuje się nie jedną wartość, lecz zakres poziomów ekspozycji. Ważne jest jednak, aby znalezione poziomy odzwierciedlały sytuację, którą opisują.

4. Charakterystyka ryzyka

W tym etapie dokonuje się oceny zakresu i ostrości prawdopodobnych ujemnych efektów w danej populacji ludzi, wynikających z aktualnej lub przewidywanej ekspozycji na daną substancję.

Chociaż każdy z poprzednich etapów analizy wykorzystuje wszystkie dostępne dane i informacje opisujące rodzaj zagrożenia, zależność dawka-efekt i ekspozycję, to żaden nie dostarcza konkluzji o ogólnym ryzyku. To zadanie jest zarezerwowane dla końcowego etapu, w którym wszystkie informacje, dane i wnioski z poprzednich etapów są analizowane wspólnie, w celu scharakteryzowania ryzyka, tj. opisanie w pełni oczekiwanego ryzyka, przez sprawdzenie przewidywanych ekspozycji dla warunków rzeczywistych i rzeczywistego zagrożenia w świetle informacji uzyskanych w badaniach.

W tym celu dokonuje się porównania ilościowej informacji o przewidywanej ekspozycji z wartością stężenia lub dawki niewywołującej jeszcze szkodliwego efektu. Porównanie przeprowadza się oddzielnie dla każdej populacji narażonej na ekspozycję i dla każdego szkodliwego efektu. Należy przy tym skupiać się na tych efektach, które mogą objawić się przy przewidywanych poziomach ekspozycji. Możliwe są dwa przypadki:

1. Przewidywana ekspozycja jest niższa od wartości progowej

$$\frac{\text{Przewidywana ekspozycja}}{\text{Wartość progowa}} < 1$$

2. Przewidywana ekspozycja jest równa lub wyższa od wartości progowej

$$\frac{\text{Przewidywana ekspozycja}}{\text{Wartość progowa}} = 1 \text{ lub } > 1$$

Jeżeli przewidywana ekspozycja jest niższa od wartości progowej (przypadek 1), to w zasadzie można przyjąć, że zagrożenie nie występuje. Trzeba jednak rozważyć, czy margines bezpieczeństwa jest wystarczający. Bierze się przy tym pod uwagę takie elementy, jak niepewność związana z jakością wykorzystanych danych, natura i intensywność efektu, rodzaj narażonej populacji, charakter ekspozycji (droga, czas trwania, częstotliwość).

W przypadkach, gdy przewidywana ekspozycja jest równa lub wyższa od wartości progowej (przypadek 2), należy podjąć działania w celu eliminowania, redukcji lub w jakiś inny sposób rozwiązania problemów związanych ryzykiem. Najczęściej zaleca się redukcję ryzyka przez wprowadzenie środków zmniejszających ekspozycję. Można jednak w pewnych sytuacjach próbować, zwłaszcza przy dużych dawkach progowych i niewielkich przekroczeniach oraz niepewnych danych, ponownie przeprowadzić ocenę ekspozycji opierając się na dodatkowych danych.

Zarządzanie ryzykiem chemicznym

Ocena ryzyka dostarcza informacji o potencjalnym ryzyku dla zdrowia ludzi lub środowiska, natomiast termin „zarządzanie ryzykiem” określa działania podejmowane w celu ich ochrony.

Dla zagrożeń chemicznych, zarządzający ryzykiem, dysponuje dwoma rodzajami decyzji a mianowicie:

- odrzucenie planowanego lub istniejącego zagrożenia, gdyż ryzyko z nim związane jest nie do zaakceptowania
- przyjęcie planowanego lub istniejącego zagrożenia, pod warunkiem zmniejszenia lub eliminacji ryzyka, np. redukcja zagrożenia, redukcja ekspozycji, zmniejszenie konsekwencji ryzyka itp.

W pierwszym przypadku całkowita eliminacja ryzyka oznacza zakaz wprowadzania danego związku chemicznego do obrotu lub wycofanie z użytkowania. Od dłuższego już czasu podejmowane są decyzje, w wyniku których wycofano już z użytkowania wiele związków chemicznych.

Często nie jest jednak możliwe, przynajmniej obecnie, wycofanie związku z użytkowania i wtedy zarządzanie ryzykiem skierowane jest na redukcję ryzyka. Wynikiem takich działań są zwykle decyzje (czy pozwolenia), dotyczące ilości substancji, które dany zakład może odprowadzać w ściekach do rzeki; które substancje mogą być odprowadzane na zakładowe składowisko odpadów; warunki składowania odpadów niebezpiecznych; ustalanie warunków pozwoleń na rozładowanie, magazynowanie i transport chemikaliów; ustalanie krajowych standardów jakości powietrza; określanie dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń w wodzie pitnej.

Każda taka decyzja, zwłaszcza gdy ma zasięg ponadregionalny, musi brać pod uwagę również dodatkowe elementy, niebędące składnikami samej oceny ryzyka, a zwłaszcza dane ekonomiczne, informujące zarządzającego ryzykiem o kosztach ryzyka i korzyściach jego redukcji, kosztach łagodzenia ryzyka, opcjach naprawczych, efektach dystrybucji kosztów i korzyści w społeczeństwie oraz czynniki technologiczne, włączając wykonalność, oddziaływanie i zakres opcji redukcji ryzyka.

Przy podejmowaniu decyzji dotyczących dopuszczalnych poziomów dawek czy stężeń istotne znaczenie ma analiza i ocena niepewności danych wykorzystywanych w ocenie ryzyka. Niepewności mogą wynikać z wielu źródeł, z naturalnej i nieodłącznej zmienności danych w czasie, zmienności w dokładności pomiarów i opracowywaniu danych, luk w wiedzy wynikających z braku danych, przyjętych modeli i procedur testów nieodzwierciedlających dobrze ekspozycji rozważanej populacji oraz, co najważniejsze, ze zmienności wewnątrz- i międzygatunkowej. Ten ostatni rodzaj niepewności wiąże się z przenoszeniem na ludzi danych, uzyskanych w testach z wykorzystaniem zwierząt.

Ponieważ ocena ryzyka może podlegać niepewności z wielu źródeł, to najczęściej stosowanym działaniem jest redukcowanie ryzyka przez wprowadzanie tzw. współczynników niepewności, za pomocą których ustala się dopuszczalne poziomy dawek. Ich wartości mieszczą się w granicach od 10 do 1000, zależnie od rodzaju wykorzystywanych danych. I tak:

- jako poziom dopuszczalny przyjmuje się poziom 10-krotnie niższy od wartości progowej uzyskanej w testach, jeżeli dane pochodzą z długoterminowych testów z udziałem ludzi, co uwzględnia naturalną zmienność wrażliwości w populacjach ludzkich
- jako poziom dopuszczalny przyjmuje się poziom 100-krotnie, a nawet 1000-krotnie niższy od wartości progowej uzyskanej w testach, jeżeli przenosi się dane z testów na zwierzętach na populację ludzi, dane pochodzą z małej liczebności osobników i lub niewielkiej bazy danych.

Współczynników niepewności nie stosuje się do chemikaliów o specyficznym działaniu, dla których nie można zidentyfikować wartości progowych (kancerogenność, mutagenność, toksyczność dla reprodukcji). Jak już wspomniano, dla takich związków szacuje się prawdopodobieństwo wystąpienia efektu, w zależności od zaabsorbowanej dawki związku. Najczęściej stosuje się to do substancji uważanych

za kancerogenne, wykorzystując do tego celu stwierdzone w testach ilości przypadków wystąpienia danego efektu w testowanej populacji, w stosunku do wielkości całej populacji dla różnych wielkości dawek. Jeżeli nie można wyeliminować danej substancji z użytkowania, i tym samym ryzyka, to za dopuszczalny przyjmuje się poziom jej stężenia odpowiadający ryzyku 10^{-6} , tzn. wystąpienia jednego dodatkowego przypadku nowotworu na 1 milion osób poddanych ekspozycji danego związku w całym okresie swego życia.

Należy jednak podkreślić, że wprowadzania współczynników niepewności nie stosuje się mechanicznie. Decyzja o wprowadzeniu takiego współczynnika, i jego wielkości, musi być poprzedzona analizą niepewności wszystkich wykorzystanych w ocenie danych i informacji, zarówno dla ochrony najbardziej wrażliwych grup w społeczeństwie, jak również możliwości realizacyjnych. Może się bowiem okazać, że względy bezpieczeństwa wymagają bardzo niskich dawek progowych, a tym samym bardzo niskich stężeń związków chemicznych, bardzo trudnych lub nawet niemożliwych do osiągnięcia, zarówno z technicznych jak i ekonomicznych względów.

Czy chemiczny oznacza niebezpieczny?

Ocena ryzyka chemicznego, jako źródło informacji o zagrożeniach chemicznych i związanej z nimi możliwości wystąpienia ujemnego efektu zdrowotnego u ludzi, stanowi pomoc dla osób lub gremiów decyzyjnych – przedstawicieli władz publicznych czy producentów chemikaliów, przy określeniu priorytetów w podejmowaniu działań prewencyjnych lub naprawczych, oraz charakteru i zakresu tych działań – w celu kontrolowania poziomu chemikaliów w produktach, czy środowisku. Nie jest to jedyne narzędzie. Wprowadzony w Unii Europejskiej system rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), przepisy dla producentów farmaceutyków, dodatków do żywności, środków ochrony roślin, a także dopuszczalne wartości emisji gazów do powietrza, czy jakości odprowadzanych ścieków, stawiają bardzo ostre wymagania dla produkcji i stosowania chemikaliów. Wszystkie podejmowane działania dla zmniejszenia zagrożenia chemicznego upoważniają więc do stwierdzenia, że żadnemu z zagrożeń współczesnego życia nie poświęcono tak wiele uwagi, nie włożono tak wiele wysiłku i nie wydano tak wiele środków na jego redukcję, jak zagrożeniu chemicznemu. I efektów tego nie można nie doceniać ani nie zauważać.

Nie upoważnia to jednak do jednoznacznego stwierdzenia, że w zakresie zagrożeń chemicznych sytuacja została już lub jest bliska opanowaniu i ryzyko z nimi związane jest już tylko znikome. Chemikalia, tak jak wszystko, mogą stwarzać ryzyko. Jednak stosowanie chemikaliów miało i ma na celu nie tylko podniesienie standardów życia, ale przede wszystkim eliminowanie innych zagrożeń, których w przeszłości pustoszyły kraje i dziesiątkowały populacje ludzkie. Przykładów jest wiele:

- stosowanie chemikaliów w rolnictwie – powszechnie uważane jest za bardzo szkodliwe i wiążące się z dużym ryzykiem dla zdrowia ludzi. Ale intensyfikacja rolnictwa dzięki wprowadzeniu nawozów i środków ochrony roślin umożliwiła nie tylko zwiększenie produkcji żywności, zapobiegając klęskom głodu na wielu obszarach naszego globu, lecz także zmniejszenie powierzchni upraw, dzięki czemu środowisko jako całość jest mniej obciążone
- chlor – jako bardzo reaktywny i jednocześnie toksyczny pierwiastek stwarza stosunkowo duże zagrożenia dla ludzi i wielu składników środowiska, co wywołuje żądania wyeliminowania go z użycia. Ale stosowanie chloru i jego związków do dezynfekcji, a zwłaszcza dezynfekcji wody pitnej, praktycznie zlikwidowało w skali światowej ryzyko występowania epidemii wywołanych złymi warunkami sanitarnymi
- wiele organicznych związków chloru – jest szkodliwych dla zdrowia i ich stosowanie nie tylko w pierwotnej postaci, lecz także do wytwarzania innych produktów, może stanowić zbyt duże ryzyko, co usprawiedliwia żądania ich wycofania. Ale związki

tego typu są niezbędne do wytwarzania wielu niezbędnych produktów, w tym farmaceutyków czy tworzyw sztucznych

- w ostatnich dekadach dramatycznie wzrosła ilość odpadów komunalnych, wśród których znaczny udział mają odpady z tworzyw sztucznych, zwłaszcza polichloru winylu. Dotychczas nie rozwiązano akceptowalnego technicznie i ekonomicznie sposobu ich likwidacji, co skutkuje powstawaniem coraz większej ilości legalnych i nielegalnych składowisk, stanowiących poważne zagrożenie dla środowiska i w konsekwencji dla zdrowia ludzi. Ale tworzywa sztuczne, w tym właśnie polichlorek winylu są tak ważnym składnikiem współczesnego świata, że ich wycofanie lub tylko ograniczenie, oznaczałoby poważny regres cywilizacyjny.

Nie można więc postrzegać chemikaliów wyłącznie z punktu widzenia związanego z nimi ryzyka. Głosy domagające się ich wycofania z produkcji i użytkowania nie uwzględniają wcale konsekwencji takich posunięć, to jest ryzyka wywołania skutków o zasięgu i skali trudnym do przewidzenia. Nie wszystkie chemikalia i nie zawsze, stwarzają zagrożenie dla zdrowia ludzi. Problem nie tkwi więc w tym, czy mamy stosować chemikalia; najważniejsze, czy stosujemy je odpowiedzialnie i jakie to nam przynosi korzyści. Nawet jeśli związek chemiczny ma niebezpieczne właściwości, to ryzyko dla ludzi lub środowiska będzie bardzo małe, jeśli będziemy go używać ostrożnie, z niezbędnym umiarem i w kontrolowanych warunkach.

Prof. dr hab. inż. Stefan ZIELIŃSKI jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej (1959) w specjalności „Materiały reaktorowe” i podjął pracę, początkowo w Katedrze Technologii Nieorganicznej, przekształconej po reorganizacji Politechniki w 1969 r. w Instytut Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej. W 1968 r. uzyskał stopień doktora nauk chemicznych za pracę doktorską pt. *Badania nad skoncentrowanym nawozem sztucznym opartym na szklistym metafosforanie potasowym*, w 1981 r. stopień doktora habilitowanego nauk technicznych za pracę *Kinetyczne aspekty krystalizacji gipsu w procesie wytwarzania ekstrakcyjnego kwasu fosforowego*, a w 2001 r. nadano Mu tytuł profesora nauk technicznych. Dorobek naukowy Profesora Stefana Zielińskiego liczy ogółem 189 pozycji, w tym 103 prace opublikowane. W trakcie pracy zawodowej na Wydziale Chemicznym Politechnice Wrocławskiej pełnił m.in. funkcje: zastępcy Dyrektora Instytutu ds. Badań Naukowych i Współpracy z Przemysłem (1978-81, 1981-84 i 1987-90); zastępcy Dyrektora ds. Rozwoju Kadry Naukowej i kierownika Zakładu Chemii i Technologii Nieorganicznej (1991-1996). Był członkiem Komitetów Naukowych I-IV Kongresów Technologii Chemicznej.

Opracował i prowadził wiele wykładów, początkowo specjalizacyjnych, a następnie ogólnowydziałowych. W 1986 r. zorganizował krajową konferencję poświęconą nowym koncepcjom nauczania technologii chemicznej, na której wygłosił referat programowy pt. *Problemy nauczania technologii chemicznej*. Przygotował założenia oraz opracował program specjalności „Technologia Ochrony Środowiska”, dla której wydał książkę *Skażenia chemiczne w środowisku*. W 1996 r. zorganizował międzynarodowe warsztaty NATO Advanced Research Workshop „Environmentally Benign Chemical Technologies” (Co-director). Był wieloletnim członkiem Komisji ds. programu studiów Rady Wydziału Chemicznego PWR, Komisji Dydaktycznej Rady Wydziału. Był również Kierownikiem i Przewodniczącym Rady Kierunku Technologia Chemiczna, który jako jeden z dwóch kierunków na Politechnice Wrocławskiej został wyróżniony przez Państwową Komisję Akredytacyjną. W trakcie pracy był opiekunem ok. 50 prac magisterskich. Profesor Stefan Zieliński wypromował 3 doktorów, opracował 3 recenzje habilitacyjne, 7 recenzji prac doktorskich i 8 recenzji wydawniczych.

Za wyróżniającą się pracę dydaktyczną oraz wysoki poziom prowadzonych zajęć Profesor Stefan Zieliński otrzymał Zespołową Nagrodę Ministra Edukacji Narodowej III stopnia, Nagrodę Senatu Politechniki Wrocławskiej, szereg nagród Rektora PWR oraz Dziekana Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej.

Profesor Stefan Zieliński jest od 10 lat Przewodniczącym Rady Programowej miesięcznika CHEMIK nauka • technika • rynek. Jest autorem wielu inicjatyw, które z sukcesem znajdują odzwierciedlenie na łamach czasopisma oraz Autorem publikacji w miesięczniku CHEMIK i opiekunem merytorycznym wydań czasopisma poświęconych zrównoważonemu rozwojowi.

Odnznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Złotym i Brązowym Krzyżem Zasługi oraz Medalem im. Wojciecha Świątosławskiego i Honorową Odznaką SITPChem.



Projekt Słoneczna Chemia Dotąd ukazały się artykuły:

- **Chemia – nie jako nauka, tylko jako zespół, wielki obszar zjawisk - istniała zawsze**
prof. Jacek Kijeński
CHEMIK 12/2009
- **Chemia jest niezbędna w rozwiązywaniu problemów współczesnej cywilizacji**
prof. Stefan Zieliński
CHEMIK 1/2010
- **Dlaczego branża chemiczna ma tak ogromne znaczenie?**
Christian Jourquin - President of European Chemical Industry Council
CHEMIK 3/2010
- **Chemia i farmacja bliżej natury, czyli jak przedłużyć życie w zdrowiu**
prof. Iwona Wawer
CHEMIK 4/2010
- **Chemia jest nauką interdyscyplinarną i ma ogromne znaczenie w wielu innych dziedzinach**
prof. Marian Taniewski
CHEMIK 5/2010
- **Zrównoważony rozwój polskiego przemysłu chemicznego – wyzwania i bariery**
mgr Anna Gietka
mgr inż. Wojciech Lubiewa-Wieleżyński
CHEMIK 6/2010
- **Chemia zażegnała widmo głodu na świecie**
prof. Mariusz Fotyma
CHEMIK 7/8/2010
- **Chemia buduje**
prof. Lech Czarnecki
CHEMIK 9/2010
- **Kiedy identyczne oznacza identyczne**
dr Marta Kijeńska
CHEMIK 10/2010
- **Kosmetyki naturalne, czy „naturalne”?**
dr inż. Iwona Konopacka - Brud
CHEMIK 10/2010
- **Biotechnologia: Dr Jekyll czy Mr Hyde?**
prof. Paweł Kafarski
CHEMIK 11/2010