



4

Jarosław Solarz

Predykcja skażeń jądrowych

77351

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ





Jarosław Solarz

**Predykcja
skażeń jądrowych**

77351

Predykcja skażeń jądrowych

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ



Jarosław Solarz

Predykcja skażeń jądrowych

WARSZAWA 2016

Recenzenci
płk dr hab. Marek Kubiński
płk dr hab. Tomasz Kośmider, prof. AON



Projekt okładki
Ewa Wiśniewska

Redakcja techniczna i skład
Małgorzata Gawłowska

Korekta
Małgorzata Sęktas

© Copyright by Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2016

ISBN 978-83-7523-494-7

Sygn. AON 6392/16

Skład, druk i oprawa: Wydawnictwo Akademii Obrony Narodowej
00-910 Warszawa, al. gen. A. Chruściela 103, tel. 261-814-055, tel./faks 261-813-752
e-mail: wydawnictwo@aon.edu.pl
Zam. nr 505/16

SPIS TREŚCI

WSTĘP	7
1. GENEZA, POTENCJAŁ I ŚRODOWISKO PROGNOZOWANIA SKAŻEŃ.....	19
1.1. Broń jądrowa jako źródło zagrożeń	19
1.1.1. Geneza zjawiska.....	19
1.1.2. Typologia broni jądrowej	22
1.1.3. Czynniki rażenia broni jądrowej	27
1.2. Działanie promieniowania na organizm ludzki.....	47
1.3. Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania.....	52
1.3.1. Geneza systemu	52
1.3.2. Obieg informacji o skażeniach.....	55
1.3.3. System Wykrywania Skażeń SZ RP	59
2. PROGNOZOWANIE W PROCESACH DECYZYJNYCH	65
2.1. Zadania decyzyjne	65
2.2. Ryzyko i niepewność.....	69
2.3. Optymalizacja decyzji i jej ograniczenia.....	73
2.4. Metody i funkcje prognozowania.....	77
2.5. Ocena sytuacji skażeń.....	81
2.6. Cel i przedmiot prognozowania	83
3. METODYKA PROGNOZOWANIA OPADU PROMIENIOTWÓRCZEGO	88
3.1. Skażenia promieniotwórcze	88
3.2. Opad promieniotwórczy	91
3.2.1. Źródła i charakter opadu promieniotwórczego	91
3.2.2. Wskaźniki ryzyka promieniotwórczego	98
3.3. Metody prognozowania skażeń opadu promieniotwórczego.....	104
3.3.1. Wymagania i ograniczenia	104
3.3.2. Przegląd metod prognozowania.....	110
3.4. Porównanie metody stref-elips z metodą ATP-45	135
4. HEURYSTYCZNE ASPEKTY PROGNOZOWANIA SYTUACJI SKAŻEŃ.....	140
4.1. Istota i właściwości przewidywania skażeń.....	140
4.2. Procedury oceny zagrożenia.....	146
4.2.1. Proces planowania działań	146
4.2.2. Proces zarządzania ryzykiem.....	151

4.3. Ocena możliwości w zakresie OPBMR	157
4.4. Zagrożenie bronią jądrową	163
4.4.1. Poziomy zagrożenia od broni jądrowej	163
4.4.2. Cel i warunki użycia broni jądrowej	165
5. KONCEPTUALNO-PRAKTYCZNY WYMIAR PROGNOZOWANIA SKAŻEŃ JĄDROWYCH	170
5.1. Istota i cel opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń	170
5.2. Właściwości i uwarunkowania	175
5.2.1. Izolinie mocy dawki, czyli odtwarzanie sytuacji skażeń	175
5.2.2. Przetwarzanie danych o skażeniu	180
5.3. Użyteczność rzeczywistej sytuacji skażeń	183
5.3.1. Możliwe zastosowania	183
5.3.2. Wiarygodność rzeczywistych metod prognozowania	188
ZAKOŃCZENIE	195
SPIS LITERATURY	200
WYKAZ TABEL	217
WYKAZ RYSUNKÓW	218

WSTĘP

Piorun w butelce – efekt geniuszu, technologii i szczęścia.

R. Rhodes, *Dark Sun: The Making of the Hydrogen Bomb*

Rozwój myśli wojskowej, od zarania dziejów, warunkowany był potrzebą zdobywania przewagi w różnego rodzaju walkach i konfliktach. Pierwotnie wystarczała przewaga fizyczna lub liczebna, jednak szybko na znaczeniu zyskała przewaga materialna, pozycyjna, czy nawet intelektualna. Największe jednak zmiany w teorii myśli wojskowej spowodowała przewaga technologiczna, która zapoczątkowała niekończący się wyścig zbrojeń. Szczególną eskalację tych zmian odnotowano w pierwszej połowie XX wieku, kiedy to w dobie wojen światowych, unicestwiono niewyobrażalną dotąd liczbę istnień ludzkich. Eksterminacja na taką skalę była możliwa dzięki ogromnej ilości wynalazków technicznych, nowych pomysłów w zakresie taktyki działania oraz rewolucyjnych, jak na tamte czasy, metod użycia różnorodnych środków rażenia. Wśród nich pojawiła się nowa broń, która ewoluując stała się najsilniejszym orężem masowej zagłady. Szczególne znaczenie w tym zakresie miały gwałtowny rozwój i wykorzystanie gazów bojowych na frontach I wojny światowej oraz późniejsze wynalezienie i użycie broni jądrowej.

Od tamtych czasów broń masowego rażenia na trwałe zagościła w arsenałach militarnych poszczególnych państw, szybko doprowadzając do zachwiania i tak już niestabilnej równowagi i światowego bezpieczeństwa.

Tym samym, rozpatrując zagrożenia współczesnego świata, zarówno te, wynikające ze starych, jak i nowych uwarunkowań, nie można nie uwzględnić zjawiska posiadania oraz ewentualnego wykorzystania ogromnego potencjału środków masowego rażenia. Powszechnie wiadomo, że możliwości ich rażącego działania daleko wykraczają poza to, co oferują środki konwencjonalne. Z tego powodu istnienie broni masowego rażenia, traktowanej, jako broń jądrowa, chemiczna i biologiczna, jest usankcjonowane, a nawet akceptowane od kilkudziesięciu lat¹. Nie oznacza to jednak, że przez ten okres nie zrobiono nic, aby się tej broni pozbyć lub przynajmniej ją ograniczyć. Wręcz przeciwnie, wysiłki wielu państw, organizacji międzynarodowych, a nawet pojedynczych osób doprowadziły

1 Dopiero od niedawna do broni masowego rażenia zalicza się także broń radiologiczną.

do sformułowania, podpisania i ratyfikacji wielu traktatów², które w zamyśle ich twórców miały doprowadzić do całkowitej likwidacji tej broni lub drastycznego ograniczenia jej potencjału.

Pomimo to, okres po II wojnie światowej można zaliczyć do prawdziwej fascynacji bronią masowego rażenia, zwłaszcza bronią jądrową, która w tym swoistym wyścigu technologicznym była główną „kartą przetargową”. W późniejszym czasie ta fascynacja, zmieniała swój wymiar do „ograniczonego zaufania”, co z jednej strony wynikało z jej potężnego potencjału rażącego, a z drugiej z ogromnego nasycenia światowych arsenałów nowoczesnymi głowicami jądrowymi, wystarczającymi do wielokrotnego unicestwienia naszej planety. Najprawdopodobniej to właśnie ten, nieporównywalny z niczym potencjał niszczenia, zwielokrotniony przez liczbę głowic spowodował, że broń jądrowa została uznana za najbardziej nieprzydatny rodzaj broni w całej dotychczasowej historii wojen. Świadczyć o tym może fakt, iż po drugiej wojnie światowej, pomimo licznych napięć i konfliktów, broń jądrowa nigdy więcej nie została użyta. Podobnie ograniczony wymiar miały próby użycia broni biologicznej i chemicznej. Być może jest to dowód ludzkiego, racjonalnego podejścia do tematu wzajemnego unicestwiania, jednak bardziej prawdopodobnym powodem wydaje się zwykły strach. W efekcie za szczególny sukces tamtych lat można uznać brak bezpośredniej konfrontacji militarnej dwóch przeciwstawnych układów wojskowo-politycznych, w których to rękach pozostawało wówczas ponad 90% światowych arsenałów broni masowego rażenia.

Przeobrażenia polityczno-ekonomiczne końca XX wieku zaowocowały gruntowną zmianą sposobu pojmowania ówczesnych zagrożeń, także tych powodowanych bronią masowego rażenia. Za podstawową przyczynę tych zmian uważa się rozpad dwubiegunowego podziału świata oraz liczne akcesje do NATO (w tym Polski). W tym momencie zdano sobie sprawę, że oprócz ewidentnych korzyści tych przeobrażeń, pojawił się cały szereg problemów powodowanych głównie wzajemną niekompatybilnością, która unaoczniała liczne rozbieżności występujące prawie we wszystkich dziedzinach działalności, w tym również w obszarze szeroko pojętej obrony przed bronią masowego rażenia.

Analiza piśmiennictwa poświęconego obronie przed bronią masowego rażenia (OPBMR) wykazała, że autorzy koncentrowali się głównie na aspektach politycznych, które choć istotne nie wyjaśniały, bądź nie precyzowały natury problemów. Potrzebą chwili stała się więc ocena ówczesnego stanu kompatybilności dotychczasowych rozwiązań narodowych i nowych – natowskich. Wynikiem ba-

2 Warto wymienić choćby: *Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons* (NPT) z 1968 roku, *Biological Weapons Convention* (BWC) z 1972 roku, *Chemical Weapons Convention* (CWC) z 1993 roku, *Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty* (CTBT) z 1996 roku, *Strategic Offensive Reduction Treaty* (SORT) z 2005 roku.

dań podjętych w 2000 roku³ były konkluzje stwierdzające, iż w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat problem broni masowego rażenia nie zostanie rozwiązany i wciąż będzie stanowił jedno z największych współczesnych zagrożeń. Drugim wnioskiem o generalnym znaczeniu był niezwykle wyraźny problem braku interoperacyjności oraz niekompatybilności rozwiązań narodowych i natowskich w zakresie OPBMR. Szczególnie jaskrawe rozbieżności dostrzeżono w takich obszarach jak: procedury ostrzegania i meldowania, zasady oceny sytuacji skażeń oraz normy warunkujące metody rozpoznania i likwidacji skażeń.

W tym kontekście ówczesny stan wiedzy w zakresie wymienionej tematyki nie pozwalał jeszcze na jednoznaczne określenie potrzeb i możliwości wykonywania zadań w zakresie obrony przed bronią masowego rażenia. Dla odmiany żadnych wątpliwości nie było w stwierdzeniu, iż w obliczu zagrożeń powodowanych bronią masowego rażenia szczególnie ważne jest wypracowanie szczegółowych procedur i zasad postępowania, które w warunkach konfliktu pozwolą antycypować prawdopodobny przebieg zdarzeń, zwłaszcza tych z udziałem broni chemicznej, jądrowej czy biologicznej. Taka umiejętność, wykorzystana do wspomagania procesów decyzyjnych w warunkach użycia broni masowego rażenia jest bezcenna i z tego względu powinna być przedmiotem wnikliwych badań.

Efekty użycia broni masowego rażenia materializują się w postaci różnych czynników rażenia. W przypadku broni chemicznej lub biologicznej będą to tylko skażenia (terenu, powietrza, wody, obiektów), natomiast po użyciu broni jądrowej tych czynników jest więcej. Zazwyczaj wymienia się: falę uderzeniową, promieniowanie cieplne, promieniowanie przenikliwe, impuls elektromagnetyczny oraz promieniotwórcze skażenie terenu. Pierwsze cztery są czynnikami o charakterze pierwotnym, co oznacza, że skutki rażenia pojawiają się natychmiast lub prawie natychmiast po wybuchu. Zupełnie inny charakter ma promieniotwórcze skażenie terenu, które pojawia się dopiero po pewnym czasie, gdy pył promieniotwórczy naziemnego wybuchu jądrowego opadnie na powierzchnię ziemi (wody). Zazwyczaj takie zjawisko trwa kilka, kilkanaście a nawet kilkadziesiąt godzin. W rezultacie powstają rozległe obszary skażonego terenu, które w istotny sposób utrudniają prowadzenie działań, a w niektórych sytuacjach wręcz je uniemożliwiają. W takich przypadkach niezwykle ważną rolę odgrywa prognozowanie skażeń, które będąc uznaną formą wspomagania procesów decyzyjnych może znacznie ułatwić planowanie i prowadzenie działań.

W przypadku prognozowania skażeń jądrowych szczególne znaczenie będą miały kalkulacje w zakresie: mocy wybuchu jądrowego, rozkładu stref skażeń promieniotwórczych, pochłoniętych dawek promieniowania oraz strat w ludziach

3 Zob. J. Solarz, *Analiza wybranych zagadnień unifikacji obrony przeciwchemicznej w ramach doktryny NBC sił NATO, AON*, Warszawa 2000.

poniesionych na skutek oddziaływania poszczególnych czynników rażenia broni jądrowej. Tak znaczna wielość oraz różnorodność rozpatrywanych zagadnień powoduje, że prognozowanie skażeń nie jest zadaniem łatwym.

O wadze problemu przekonano się już na wstępie, przy próbie interpretacji podstawowej definicji, jaką jest „prognozowanie”. Okazuje się, że termin ten ma dość szerokie zastosowanie, co w dużym stopniu utrudnia jednoznaczną interpretację. Obszerna literatura odnosi się do wielu dziedzin działalności człowieka, zwłaszcza tych, które wiążą się z planowaniem i podejmowaniem decyzji w rozmaitych sytuacjach zagrożeń. Uznano jednak, że rozważania należy rozpocząć od zdefiniowania innego pojęcia, którego najbardziej znaną interpretację przedstawiła M. Cieślak. Przewidywanie, bo o nie chodzi, to *wnioskowanie o zdarzeniach nieznanych na podstawie zdarzeń znanych*⁴. Co ciekawe wśród zdarzeń nieznanych możemy znaleźć nie tylko te, które zajdą w przyszłości, ale także takie, które już miały miejsce wcześniej. Tym samym można przewidywać nie tylko zdarzenia przyszłe, ale także te, które już nastąpiły, chociaż z różnych powodów nie znamy szczegółów zjawiska. Rozpatrując typologię przewidywania wyróżniamy cztery jego rodzaje – racjonalne i nieracjonalne, zdroworozsądkowe oraz naukowe. Wśród nich, ze względów praktycznych największe znaczenie ma przewidywanie racjonalne i naukowe, które łącznie przyjęto nazywać prognozowaniem. Jego wynik to prognoza. Niestety nie zawsze sposób pojmowania prognozy jest tak jednoznaczny. Istnieje bowiem bardzo wiele jej definicji, które ze względu na zastosowane kryterium mogą mieć różną interpretację. Warto choćby wspomnieć o definicji Z. Hellwiga, według której prognoza (ekonometryczna) to sąd, którego prawdziwość jest zdarzeniem losowym, przy czym prawdopodobieństwo zdarzenia jest nie mniejsze od ustalonej z góry, bliskiej jedności liczby zwanej wiarygodnością prognozy⁵. Inne podejście prezentuje Z. Czerwiński, który uznał, iż prognozę traktujemy, jako sąd o zajściu określonego zdarzenia w czasie określonym z dokładnością do momentu lub okresu czasu, należącego do przyszłości⁶. Już na przykładzie tylko tych dwóch definicji widać wyraźnie, że jako kryterium definiowania można przyjmować różne elementy, jak choćby wiarygodność (Hellwig) czy odniesienie do przyszłości (Czerwiński). Aby uniknąć niejasności zaproponowano definicję, która uwzględnia większość stosowanych kryteriów tego pojęcia, a przynajmniej tych najistotniejszych. Zgodnie z tym, *prognozowanie to naukowe przewidywanie przyszłości, formułowanie sądów o charakterze probabilistycznym,*

4 M. Cieślak (red.), *Prognozowanie gospodarcze, metody i zastosowania*, Wydawnictwa naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 18.

5 Z. Hellwig, *Schemat budowy prognozy statystycznej metodą wad harmonicznych*, Przegląd Statystyczny, zeszyt 2, Sopot 1967, s. 258.

6 Z. Czerwiński, *Dylematy ekonomiczne*, PWE, Warszawa 1992, s. 220.

*dotyczących możliwych przebiegów i rezultatów obiektywnych procesów przyrodniczych i społecznych w skończonym czasie, opartych na udowodnionych lub hipotetycznych prawidłowościach*⁷.

Zaproponowane podejście wyjaśnia istotę prognozowania, którą można wyrazić w naukowym podejściu do problemu, odniesieniem do przyszłości, obiektywnością procesów, ich weryfikowalnością oraz akceptowalną niepewnością.

Nadmiar definicji prognozowania może skłaniać do wniosku, że podobna sytuacja występowała także w przypadku definicji prognozowania skażeń. Okazało się jednak, że jest zupełnie inaczej i prawie żadna publikacja na ten temat nie była dostępna. Nawet w wydawnictwach wojskowych, traktujących o prognozowaniu skażeń takiej definicji nie było. W efekcie jedynym materiałem, w którym znalazły się odniesienia do definicji, natury oraz zasad prognozowania skażeń była praca S. Śladkowskiego i E. Moskala⁸. Na potrzeby rozważań autor przyjął więc, że **prognozowanie skażeń** oznaczać będzie *przewidywanie przyszłego ich stanu i zjawisk im towarzyszącym, poparte odpowiednim aparatem matematycznym, określające zależności przyczynowo-skutkowe zachodzących procesów, w bliskim horyzoncie czasowym*⁹.

Od wielu lat zarówno w Wojsku Polskim, jak i w NATO wykorzystywano specjalne metodyki do prognozowania skażeń. Ich treść oraz struktura kształtowała się przez dziesięciolecia zgodnie z ówczesnie istniejącymi trendami i doświadczeniami zebranymi w czasie prób z bronią masowego rażenia. Wydawałoby się więc, że lata doświadczeń doprowadziły do jednolitego i ostatecznego sformułowania właściwych procedur, które w miarę realny sposób powinny odwzorowywać zachowanie się skażeń w terenie, a także ich wpływ na działanie wojsk i ludności cywilnej. Tak się jednak nie stało.

Zadania wynikające z członkostwa Polski w NATO wymusiły adaptację nатовskich metod prognozowania, kosztem tych, które obowiązywały w Układzie Warszawskim, co w naturalny sposób doprowadziło do nakreślenia obszaru problemowego. Szczególnie widoczne stały się potrzeby w zakresie kompleksowej analizy porównawczej, dotyczącej stopnia unifikacji metod i procedur prognozowania skażeń z uwzględnieniem wszelkich podobieństw i rozbieżności mających wpływ na szacowanie zagrożeń i stosowną do tego reakcję¹⁰.

7 Definicja autora na podstawie: *Leksykon wiedzy wojskowej*, MON, Warszawa 1974, s. 333.

8 S. Śladkowski, E. Moskal, *Metody oceny sytuacji skażeń*, AON, Warszawa 2000.

9 J. Solarz, *Prognozowanie skażeń chemicznych i promieniotwórczych w świetle standardów NATO, cz. I. Skażenia promieniotwórcze*, AON, Warszawa 2001, s. 7–8.

10 Badania wstępne spowodowały konieczność odrzucenia jednego z obszarów problemowych, jakim było prognozowanie skażeń biologicznych. Wynikało to przede wszystkim z braku odpowiednich procedur i możliwości technicznych poszczególnych państw w zakresie rozpoznania skażeń tego typu, a także z braku wiarygodnych opracowań teoretycznych, które dotyczyłyby tego problemu. Istniejące ówczesnie metodyki całkowicie pomijały ten aspekt prognozowania, odwołując się do rozwiązań narodowych, które tak naprawdę nigdy nie istniały.

Pierwsze dociekania autora, prowadzone w tym zakresie, dotyczyły prognozowania skażeń promieniotwórczych¹¹. Analiza problemu wykazała, że istniejące w tym czasie zasady prognozowania skażeń wywodzące się z dwóch przeciwstawnych „szkół” prognozowania wykorzystują do kalkulacji całkowicie odmienne algorytmy i procedury, pomimo zachowania podobnych założeń i podstaw teoretycznych. Ponadto, dążąc do wypracowania uogólnień związanych z istniejącymi w Polsce i NATO metodami prognozowania skażeń promieniotwórczych oraz ich unifikacją można było sformułować pierwsze wnioski. Wynikało z nich, że sposoby obliczania mocy wybuchu jądrowego są bardzo podobne, gdyż wykorzystują te same zjawiska wybuchu. Różnice występują jedynie w szczegółach, podczas gdy istota pozostaje taka sama. Zdecydowanie odmienny charakter ma sposób odwzorowania stref skażeń. Różnice występują nie tylko w parametrach poszczególnych stref, lecz także w liczbie oraz idei ich określania. Wydaje się, że znacznie praktyczniejsze podejście cechuje metodę natowską, w której definicja stref skażeń ma charakter orientacyjny, a główna uwaga zwrócona jest na aktualnie zmierzone moce dawki promieniowania.

Mimo tych różnic dokładne porównanie rozpatrywanych stref pozwoliło na wyłonienie pewnych analogii. Badania wykazały, że strefy skażeń, zarówno te bezpieczniejsze (strefa II i strefa A) jak i pozostałe (strefa I oraz strefy B, C, D) w pewien sposób się pokrywają. Wyniki tych rozważań mają jednak drugorzędne znaczenie, gdyż wiarygodny (rzeczywisty) obraz skażeń będzie możliwy dopiero po wykonaniu pomiarów mocy dawki w terenie.

Kontynuując dociekania w zakresie prognozowania skażeń zwrócono też uwagę na skażenia chemiczne. Stan istniejącej wiedzy czynił zasadnym założenie, że w tym przypadku liczba różnic lub niezgodności może być znacznie większa niż w przypadku skażeń promieniotwórczych. Rzeczywistość, w postaci wyników badań¹² prawie w całości potwierdziła te założenia, a ich weryfikacja dowiodła znacznej rozbieżności poglądów, szczególnie w zakresie kompatybilności metod prognozowania skażeń chemicznych oraz samej istoty oceny sytuacji skażeń.

Rezultaty przedstawionych badań doprowadziły do konstatacji, iż tak duże rozbieżności, złożoność problemu oraz niezwykle rozległy obszar dociekań znacznie wykraczają poza założone ramy opracowania. Uznano więc za celowe przyjęcie dodatkowych ograniczeń, które w rezultacie spowodowały odrzucenie problematyki skażeń chemicznych, zawężając problem tylko do prognozowania skażeń promieniotwórczych. Analiza literatury przedmiotu wykazała, że zasady prognozowania skażeń promieniotwórczych wynikają przede wszystkim z ustaleń

11 J. Solarz, *Prognozowanie skażeń...*, cz. I, wyd. cyt.

12 Zob. J. Solarz, *Prognozowanie skażeń chemicznych i promieniotwórczych w świetle standardów NATO*, cz. II *Skażenia chemiczne*, AON, Warszawa 2002.

zawartych w publikacji sojuszniczej ATP-45 (kolejne wersje A, B, C i D)¹³. Brakuje zaś zarówno kompleksowych podstaw teoretycznych¹⁴, jak i opartych na nich rozwiązań praktycznych określających usystematyzowane i uzasadnione praktycznie metody prognozowania skażeń. Obecnie na rynku wydawniczym, oprócz publikacji wojskowych, nie funkcjonuje ani jedna pozycja poświęcona prognozowaniu skażeń¹⁵, a wszystkie inne opracowania mają bardzo ogólny i ograniczony charakter. Jest to o tyle dziwne, że potencjał, charakter i skala możliwych zagrożeń, generowanych przez broń masowego rażenia, a zwłaszcza przez broń jądrową, sytuują ją na pierwszym miejscu wśród polityczno-militarnych problemów współczesnego świata. Taka sytuacja wskazuje, że problematyka prognozowania skażeń promieniotwórczych nie znalazła należnego miejsca w wydawnictwach o charakterze naukowym, doprowadzając w ten sposób do wytworzenia bardzo wyraźnego obszaru „niewiedzy”, który przez dłuższy czas pozostawał niewypełniony.

W efekcie, celem dociekań autora stała się weryfikacja i usystematyzowanie wiedzy o pojęciu, zasadach i metodach prognozowania skażeń stosowanych w procesie podejmowania decyzji, w warunkach użycia lub groźby użycia broni jądrowej. Aby ten cel osiągnąć trzeba było określić problem, który sprecyzowano w postaci następującego pytania. **Jaka jest przydatność współczesnych metod prognozowania skażeń jądrowych, do czego można je wykorzystać oraz co w nich zmienić, aby spełniały zarówno potrzeby współczesnego pola walki, wymagania standaryzacyjne, jak i naukowe podstawy „ogólnej” teorii prognozowania?** Zakres, ranga oraz stopień złożoności problemu czynił zasadnym przeprowadzenie szczegółowej analizy wielu, różnorodnych elementów, które zarówno łącznie, jak i rozdzielnie stanowiły o strukturze tego zagadnienia, wskazując jego istotę, potencjał oraz możliwości doskonalenia. W efekcie powstały kolejne pytania wymagające odpowiedzi. *Co determinuje efekt prognozy skażeń, jakie jest jej otoczenie, komponenty i wzajemne relacje? Jaka jest rola prognozowania skażeń w procesach decyzyjnych i z czego ona wynika? Jaka jest wiarygodność istniejących metod prognozowania skażeń promieniotwórczych i co decyduje o ich jakości? Jakie relacje zachodzą pomiędzy oceną zagrożenia bronią jądrową a prognozowaniem skażeń promieniotwórczych? Jaką rolę odgrywa rzeczywista sytuacja skażeń w prognozowaniu skażeń promieniotwórczych i jaka jest jej przydatność?*

Analiza sytuacji problemowej pozwoliła na określenie trzech głównych aspektów prognozowania skażeń promieniotwórczych, odnoszących się do konkret-

13 *Warning and Reporting and Hazard prediction of Chemical, Radiological and Nuclear Incidents*, ATP-45(D), STANAG 2103, NSA, Brussels 2010.

14 Jedyne wydawnictwa tego typu pochodzą z lat 60. i 70. i przedstawiają ówczesne poglądy, które często są ze sobą sprzeczne lub co najmniej odmienne. Są one pochodną indywidualnego podejścia do problemu naukowców radzieckich i amerykańskich.

15 Poza publikacjami autora.

nego środowiska ich występowania, czyli do skażenia ziemi, wody i powietrza. Powszechnie wiadomo, że wybuchy jądrowe mogą być wykonywane w każdym obszarze środowiska, dlatego procedury prognozowania powinny uwzględniać wszystkie wymienione aspekty skażeń.

Dalsze badania w tym zakresie¹⁶ pozwoliły dostrzec zdecydowaną odmienność prognozowania skażeń promieniotwórczych w atmosferze, wskazującą na istnienie specyficznych, innych niż w ATP-45 metod prognozowania. Jednocześnie dało się zauważyć, że ranga problemu także odbiega „*in minus*” od wagi prognozowania skażeń naziemnych. W rezultacie uznano, iż ze względu na niekompatybilność zasad oceny sytuacji skażeń w atmosferze oraz stosunkowo niewielką skalę generowanych zagrożeń, w dalszych dociekaniach problem prognozowania skażeń promieniotwórczych w atmosferze nie będzie rozpatrywany.

W podobny sposób zrezygnowano z szerszych badań w zakresie zasad prognozowania skażeń promieniotwórczych na morzu, tym razem jednak z powodu ich tożsamości z zasadami odnoszonymi się do prognozowania skażeń promieniotwórczych na ziemi. W ten sposób zakończony został etap definiowania przedmiotu i zakresu badań, który ostatecznie zawężono do metod prognozowania skażeń powstałych na ziemi po wykonaniu uderzeń jądrowych. W tym miejscu należy zaznaczyć, iż problem prognozowania skażeń promieniotwórczych może się także odnosić do skażeń spowodowanych bronią radiologiczną lub awarią reaktorów jądrowych. Takie przypadki jednak, choć całkiem możliwe, mają zdecydowanie odmienny charakter, a ponadto znacznie mniejszą skalę rażącego oddziaływania. W ten sposób nie mogą być rozpatrywane łącznie czy też równoległe z prognozowaniem skażeń promieniotwórczych będących wynikiem uderzeń bronią jądrową. Fakt odrzucenia dwóch innych rodzajów broni masowego rażenia (chemicznej i biologicznej) w niczym nie obniża wartości podjętych badań, szczególnie, że broń jądrowa w dalszym ciągu pozostaje głównym, a co ważniejsze także najsilniejszym rodzajem broni masowego rażenia. Skali problemu nie umniejsza także fakt postępującego procesu antyprolifracji broni jądrowej czy też brak historycznych przykładów jej wykorzystania po II wojnie światowej. Inne „argumenty”, w postaci często pojawiających się twierdzeń o współczesnej nieprzydatności broni jądrowej, ustępują wobec nieustannego utrzymywania wysokiego poziomu arsenałów jądrowych oraz ciągłej ich modernizacji. Przydatność broni jądrowej oraz wiara w jej niezwykle możliwości rażenia widoczne są także w doktrynach państw jądrowych oraz wysiłkach państw, które dążą do uzyskania statusu „mocarstwa jądrowego”. Nie bez znaczenia są także starania różnych ugrupowań terrorystycznych, które nie tylko chcą mieć broń jądrową, ale nawet skłonne są jej użyć. W takich warunkach, połączonych z dynamicznie rozwijającą się sytuacją politycz-

16 Kompleksowy opis problemu przedstawiono w: J. Solarz, *Ocena sytuacji skażeń w atmosferze po uderzeniach jądrowych*, AON, Warszawa 2003.

no-militarną świata nie można pozwolić na bagatelizowanie tego problemu, zwłaszcza, gdy powszechnie wiadomo, jakie byłyby następstwa, gdyby potencjał jądrowy wymknął się spod międzynarodowej kontroli.

Istota przedstawionych uwarunkowań czyni zasadnym założenie, że prognozowanie skażeń promieniotwórczych powinno spełniać, co najmniej dwie funkcje. Funkcję ostrzegającą (informacyjną) oraz funkcję preparacyjną, która jest zasadniczą funkcją wspomagania procesów decyzyjnych. Ich znaczenie będzie duże zarówno w etapie oceny potencjalnych zagrożeń, jak również w trakcie realnych działań bojowych, już po użyciu broni jądrowej. Jednak skuteczność prognozy skażeń, a przez to jej przydatność w procesie wspomagania decyzji będzie duża tylko w przypadku stosowania terminowych, jednolitych, a przede wszystkim wiarygodnych procedur prognozowania skażeń.

Wymagania standaryzacyjne w dziedzinie prognozowania skażeń promieniotwórczych w sposób jednoznaczny wymuszają stosowanie metod i procedur NATO, które tylko w pewnej części były kompatybilne z narodowymi procedurami prognozowania skażeń, stosowanymi wcześniej. Postępująca ewolucja metod prognozowania skażeń jest przyczyną ciągłego procesu doskonalenia tych metod, przejawiającego się w nieustannym poszukiwaniu optymalnych rozwiązań w zakresie gromadzenia informacji niezbędnej do uruchomienia procesu prognozowania, opracowania odpowiedniej prognozy oraz przygotowania wniosków będących podstawą podejmowania decyzji w warunkach skażeń.

Prognozowanie skażeń promieniotwórczych realizowane jest w celu wsparcia procesów decyzyjnych w sytuacji przed, po i w trakcie uderzeń bronią jądrową. Może pełnić różne funkcje, zarówno informacyjne, ostrzegawcze jak i preparacyjne. Podstawowym „otoczeniem” prognozowania skażeń (nie tylko promieniotwórczych) jest System Wykrywania Skażeń (SWS), który poprzez swoje struktury i funkcje jest przeznaczony do zbierania, przetwarzania i wytwarzania informacji o skażeniach. Jego funkcjonowanie ma charakter kompleksowy, wieloszczeblowy i multidyscyplinarny, co oznacza, że uwarunkowany jest potrzebami przygotowania danych do decyzji, podejmowanych w warunkach skażeń chemicznych, biologicznych lub promieniotwórczych, na wszystkich poziomach dowodzenia.

Dotychczasowe piśmiennictwo dotyczące prognozowania skażeń w żadnym stopniu nie odnosiło się do „ogólnej” teorii prognozowania. Mimo to w stosowanych procedurach można zauważyć ścisły związek z metodami prognozowania o charakterze przyczynowo-skutkowym, opartych na modelach symptomatycznych, a także z metodami heurystycznymi wykorzystywanymi do przygotowywania przewidywanej sytuacji skażeń promieniotwórczych. Ze względu na dość luźny związek z „ogólną” teorią prognozowania optymalizacja metod prognozowania skażeń powinna zmierzać do poszukiwania nowych, bardziej wiarygodnych metod oraz modyfikacji dotychczasowych w wymaganym zakresie.

Przewidywanie i prognozowanie skażeń to pojęcia, które w piśmiennictwie traktowane są dość niejednoznacznie. Przede wszystkim w pojęciu ogólnym oba słowa są synonimami, natomiast w teorii prognozowania ich istota oraz zastosowania są nieco odmienne. Zgodnie z tym przewidywanie skażeń to proces, w którym korzysta się głównie z metod o podłożu heurystycznym, natomiast w prognozowaniu skażeń mamy zwykle do czynienia z metodami opartymi na modelach.

Przewidywanie skażeń reprezentujące heurystyczny aspekt prognozowania oparte jest w głównej mierze na intuicji i doświadczeniu osób zaangażowanych w proces prognozowania. Bardzo podobny charakter mają inne procesy ocenowe realizowane w ramach cyklu decyzyjnego. Są to przede wszystkim oceny prowadzone w zakresie możliwości użycia BMR, a w tym: ocena przeciwnika (zagrożenia), informacyjne przygotowanie pola walki oraz ocena podatności wojsk na oddziaływanie BMR. Wszystkie wymienione formy aktywności wzajemnie się przenikają, zmierzając do określenia najbardziej prawdopodobnego sposobu użycia BMR przez przeciwnika, a w efekcie także jego skutków. Podstawowa różnica między nimi polega natomiast na dogłębności poszczególnych ocen i analiz, zakresie ich wykonania oraz zróżnicowanej odpowiedzialności osób funkcyjnych. Mimo tych różnic każdy z wymienionych procesów zapewnia znacznie lepsze możliwości w zakresie oceny przeciwnika niż jakakolwiek procedura prognozowania skażeń. Z tego powodu opracowanie przewidywanej sytuacji skażeń powinno przebiegać w dwóch etapach – pierwszym, bazującym na wybranych procesach ocenowych, oraz drugim – typowo prognostycznym, realizowanym tak, jak w przypadku opracowania prognozowanej sytuacji skażeń.

Pomimo iż historia broni jądrowej nie jest zbyt długa, to na przestrzeni lat funkcjonowały różne, często bardzo odmienne metody prognozowania skażeń. Ich różnorodność wynikała z zastosowania metod matematycznych połączonych z danymi uzyskanymi po próbnym wybuchach jądrowych, które ze względu na ich różnorodność wprowadzały coraz to nowe uwarunkowania. Wielość tych metod doprowadziła do tego, iż ich wiarygodność była i wciąż jest bardzo różna, zwłaszcza, że cel ich wykorzystania nie zawsze jest tożsamy. Przykładowo S. Glasstone, wśród najbardziej przydatnych metod wymieniał metody przewidywania sektora niebezpieczeństwa, metodę analogową oraz metody oparte na modelach matematycznym i przypuszczalnym¹⁷. Obecnie preferowane są zarówno proste metody graficzne, jak i rozbudowane metody symulacyjne, które bazują na szerokim dostępie do danych i dużej mocy obliczeniowej komputerów.

Prawidłowe przygotowanie prognozy skażeń to skomplikowany proces eksploracyjno-analityczny, który polega na realizacji ściśle określonych procedur

17 S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, edition 3, Washington 1977.

i algorytmów, zmierzających do wizualizacji konturów skażenia oraz określenia mocy dawki promieniowania (lub dawki) w wybranym miejscu i czasie. To zaś jest niezbędne do w miarę wiarygodnej oceny stanu zagrożenia w poszczególnych strefach skażeń oraz do określenia możliwości prowadzenia działań w skażonym terenie. Sprawą nadrzędną jest przy tym odpowiednio duża wiarygodność prognozy, która w efekcie znacznie ogranicza możliwość niepotrzebnego narażania stanu osobowego na pochłonięcie niebezpiecznych dawek promieniowania. Wśród zmiennych, które w największym stopniu decydują o jakości prognozy skażeń znajdujemy: moc wybuchu jądrowego, lokalizację uderzenia (punkt zero-wy) oraz warunki meteorologiczne i terenowe.

Rzeczywista sytuacja skażeń to prognozowany obraz skażeń promieniotwórczych, przygotowany w oparciu o rzeczywiste, potwierdzone dane o mocy dawki promieniowania w dokładnie określonych (zbadanych) obszarach i ustalonym czasie. Dane te są wynikiem szczegółowego rozpoznania skażeń, prowadzonego w ściśle określonych miejscach, zazwyczaj takich, które są przewidziane do późniejszego wykorzystania. Końcowym efektem tej formy prognozowania jest rzeczywista sytuacja skażeń, która stanowi podstawę do podejmowania wszystkich decyzji związanych z przebywaniem w terenie skażonym lub jego przekraczaniem. Stanowią przez to najbardziej wiarygodne źródło informacji, oparte na wynikach realnych pomiarów w skażonym terenie, które pozwala zaplanować dalsze działania przy maksymalnie niskim ryzyku napromienienia wojsk.

Niniejsze opracowanie składa się z pięciu rozdziałów, w których dokładnie rozpatrzono szereg zagadnień związanych z prognozowaniem skażeń jądrowych, poddając analizie przedstawione wcześniej założenia i wątpliwości. Ostateczne konkluzje i odpowiedzi przedstawiono w zakończeniu.

W rozdziale pierwszym – wprowadzającym – autor podjął próbę ustalenia genezy problemu oraz przedstawienia istoty zagrożeń jądrowych, przejawiających się w postaci możliwości użycia broni jądrowej oraz samego faktu jej posiadania. Określono przy tym jej typologię oraz potencjał, wyrażany przez takie czynniki rażenia jak: fala uderzeniowa, promieniowanie cieplne, promieniowanie przenikliwe i impuls elektromagnetyczny. W rozdziale dokonano też analizy oddziaływania promieniowania jonizującego na organizmy żywe, ze szczególnym uwzględnieniem dopuszczalnych dawek promieniowania oraz możliwości działania wojsk i ludności cywilnej w terenie skażonym. Dużą część rozdziału poświęcono także problemom definiowania i wyjaśniania środowiska prognozowania skażeń, za które przyjęto Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania, a w nim System Wykrywania Skażeń SZ RP.

Rozdział drugi poświęcony jest problematyce mającej na celu określenie roli prognozowania w procesach decyzyjnych, zwłaszcza tych, które są realizowane w warunkach zagrożenia skażeniami. Podjęto przy tym próbę zdefiniowania

takich pojęć jak: zadania decyzyjne, ryzyko oraz niepewność, wskazując na ich wzajemne zależności i ograniczenia. W tej części zwrócono także uwagę na dużą różnorodność metod prognozowania skażeń, określając ich użyteczność w zależności od zakładanego celu i przedmiotu prognozowania. Wyodrębniono w ten sposób trzy formy prognozowania skażeń, które mogą być wykorzystane do trzech różnych zastosowań, znanych, jako przewidywana, prognozowana i rzeczywista sytuacja skażeń.

W rozdziale trzecim całość rozważań poświęcono ocenie prognozowanej sytuacji skażeń oraz interpretacji współczesnych metod prognozowania skażeń jądrowych wraz z ich historią oraz aktualną użytecznością. Ze względu na dość dużą odmienność analizowanych metod przedstawiono szczegółową ich charakterystykę wraz z całą procedurą prowadzącą do ich wyznaczenia. Ponadto, w przypadku rosyjskiej metody stref elips oraz natowskiej metody ATP-45, dokonano analizy porównawczej prognozowanych stref, wskazując na wzajemne podobieństwa i rozbieżności. Uwzględniono przy tym możliwe przyczyny skażenia, źródła i charakter opadu promieniotwórczego oraz wskaźniki ryzyka promieniotwórczego, przydatne do oceny zagrożenia.

Rozdział czwarty dość szczegółowo traktuje o heurystycznych aspektach prognozowania skażeń, znanych jako przewidywana sytuacja skażeń. W rozdziale autor wskazuje na mało racjonalne podejście do przygotowania tego typu prognozy, która w warunkach braku zagrożenia nie ma żadnego uzasadnienia. W tym kontekście założono, że inne formy działalności ocenowej mogą być znacznie bardziej przydatne, zwłaszcza, że są dobrze znane i powszechnie stosowane.

W rozdziale piątym – ostatnim – zwrócono uwagę na konceptualno-praktyczny wymiar prognozowania skażeń. Dokładnie przeanalizowano istotę, cel, właściwości oraz przydatność rzeczywistej sytuacji skażeń, szczególną uwagę zwracając na ocenę realnych możliwości przebywania w terenie skażonym oraz jego przekraczania, przy jednoczesnym unikaniu niepożądanych, ekstremalnych dawek promieniowania.

Kończąc, szczególne wyrazy podziękowania chciałbym skierować do żony Emilii, której troska i bezgraniczne poparcie nieustannie budowały moją motywację do napisania tej książki.

1

GENEZA, POTENCJAŁ I ŚRODOWISKO PROGNOZOWANIA SKAŻEŃ

1.1. Broń jądrowa jako źródło zagrożeń

1.1.1. Geneza zjawiska

Odkrycie promieniotwórczości w 1896 roku zapoczątkowało dynamiczny rozwój badań nad nowym zjawiskiem, co w efekcie doprowadziło do szeregu nowych odkryć. Do badań nad promieniotwórczością włączyło się wielu uczonych, wśród których najbardziej zaawansowane prace prezentowali Maria Curie Skłodowska oraz Piotr Curie. Ich starania już w 1903 roku doprowadziły do odkrycia dwóch nowych pierwiastków, które nazwano rad i polon¹. Wkrótce potem pojawiły się odkrycia kolejnych pierwiastków promieniotwórczych, co całkowicie zrewolucjonizowało ówczesny świat nauki i techniki. Nowe, epokowe wręcz dokonania stworzyły, nieznane wcześniej możliwości w zakresie kolejnych badań i rozwoju, jednak jak się później okazało stanowiły one tylko wstęp do znacznie większego odkrycia. Na to odkrycie trzeba jednak było trochę poczekać, bo w międzyczasie musiały się pojawić inne rozwiązania, bez których końcowy, jakże spektakularny efekt byłby niemożliwy. Wśród ważniejszych dokonań warto wymienić: sformułowanie przez Einsteina szczególnej teorii względności (1905), odkrycie możliwości zamiany jednych pierwiastków w inne poprzez ich bombardowanie cząstkami alfa (Rutherford – 1919), odkrycie neutronu przez Chadwicka (1932) oraz poznanie zjawiska sztucznej promieniotwórczości przez małżeństwo Irene i Fryderyk Joliot-Curie (1934). Jednak dopiero w 1938 roku świat był gotów na najważniejsze odkrycie, którym było poznanie możliwości rozszczepienia jądra atomu².

1 Za swoje dokonania małżeństwo Curie wraz z Henri Bequerelem otrzymało w 1903 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

2 Za odkrywców rozszczepienia jądra atomowego powszechnie uważa się Otto Hahna oraz Fritza Strassmana, jednak istotny wkład w tym odkryciu mieli także inni naukowcy, np.: małżeństwo Joliot-Curie, Enrico Fermi, czy Leo Szilard. Rok później w 1939 r. Lise Meitner oraz Otto Robert Frisch przedstawili szczegółową, naukową interpretację tego zjawiska.

Można jednak zapytać, co takiego doniosłego było w tym odkryciu? Czy poznanie zjawiska rozszczepienia jądra atomowego rzeczywiście było czymś nadzwyczajnym, co wyróżnia je ponad inne odkrycia tamtych czasów? Odpowiedź na to pytanie nie jest jednoznaczna. Z jednej strony (naukowej) było to odkrycie kolejnych praw fizyki, podobne do wielu innych, wcześniejszych, jednak patrząc na to od strony praktycznej odkrycie to otwierało nowe, teoretycznie nieograniczone możliwości pozyskiwania energii, pochodzącej z jądra atomowego. Energia, którą mogli teraz dysponować była nieporównywalna do jakiegokolwiek znanej wcześniej energii. Szczególnie wyraźna różnica widoczna była po jej porównaniu z energią uzyskiwaną w reakcjach chemicznych³. Drugim, niemniej ważnym odkryciem zaobserwowanym przy rozszczepieniu jądra atomowego było stwierdzenie, że w pojedynczej reakcji rozszczepienia powstają 2–3 nowe neutrony, które mogą brać udział w kolejnych rozszczepieniach. W ten sposób pojawiła się możliwość „kierowanego” rozszczepienia jąder atomowych przebiegającego w sposób „łańcuchowy”. Odkrycie to było swoistym potwierdzeniem przewidywań Fryderyka Joliot-Curie, który odbierając z żoną Nagrodę Nobla w 1935 roku stwierdził – *mam prawo mniemać, że badacze, dowolnie tworzący lub rozbijający pierwiastki, potrafią zrealizować przemiany o charakterze wybuchowym, prawdziwe łańcuchowe reakcje chemiczne*⁴. Słowa te okazały się prorocze, gdyż już kilka lat później powstał pierwszy reaktor jądrowy⁵, a wkrótce potem energię rozczepienia jąder atomowych wykorzystano w sposób bojowy w miastach Hiroszima i Nagasaki.

Ustalono, że do rozszczepienia jąder atomowych nadaje się przynajmniej kilka pierwiastków, ale tylko dwa – uran i pluton – mogą mieć racjonalne zastosowanie. Przy okazji okazało się, że nie wszystkie izotopy tych dwóch pierwiastków nadają się do wykorzystania, a te, które są odpowiednie (pluton-239, uran-235) są albo niedostępne albo występują w bardzo małych ilościach⁶. Tę niedogodność rozwiązano poprzez opracowanie odpowiednio wydajnych metod wzbogacania uranu⁷. Drugim problemem była sama konstrukcja ładunków jądrowych, które do skutecznej detonacji wymagały materiałów rozszczepialnych w ilości prze-

3 W reakcjach chemicznych wydzielana energia jest wielkości kilku elektronowoltów (eV), natomiast energia pochodząca z rozszczepienia jądra atomowego wynosi około 200 MeV.

4 M. Haïssinsky, *Chemia jądrowa i jej zastosowanie*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1959, s. 31.

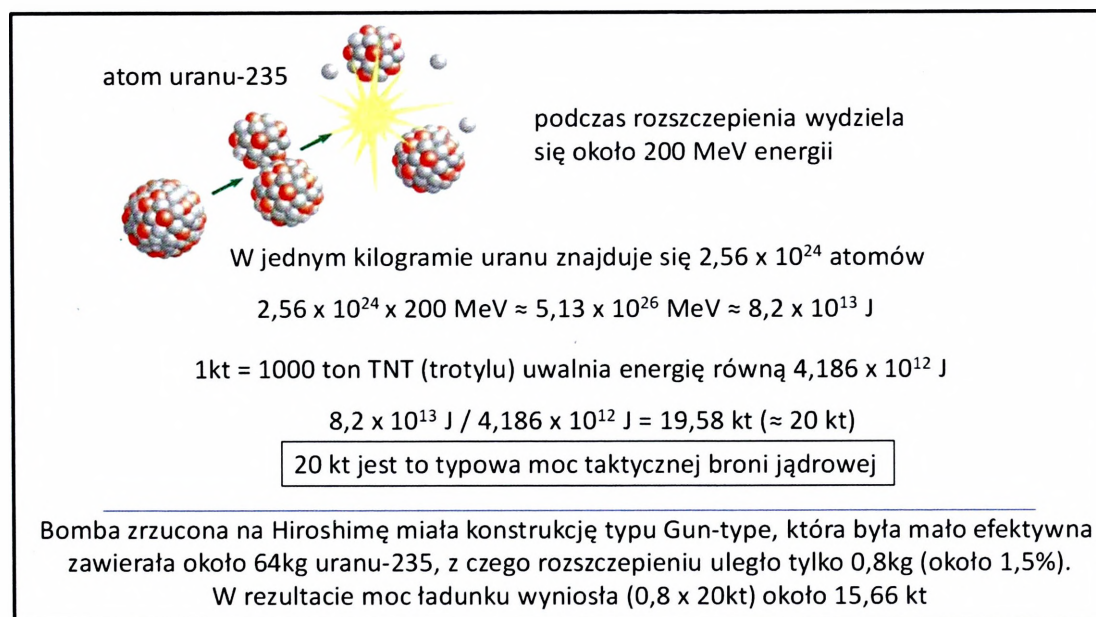
5 Pierwszy reaktor jądrowy Chicago Pile (CP-1) powstał w 1942 roku na stadionie uniwersyteckim w Chicago. Jego twórcą był zespół pod przewodnictwem włoskiego fizyka Enrico Fermiego.

6 Pluton-239 w zasadzie nie występuje w przyrodzie, natomiast uran naturalny, który występuje w skorupie ziemskiej zawiera zaledwie 0,7% uranu-235.

7 Podczas prac testowano możliwości wykorzystania: separacji elektromagnetycznej, metody dyfuzyjnej oraz wirówkowej. Dwie ostatnie metody są stosowane do dnia dzisiejszego.

kraczącej masę krytyczną. Dodatkowo, masa ta musiała być uzyskana w ściśle określonym momencie, w taki sposób, aby nastąpiło gwałtowne połączenie elementów „podkrytycznych”. Mimo wielu trudności z tym problemem także sobie poradzono, opracowując dwie metody uzyskiwania masy krytycznej – implozyjną oraz typu działo. Wkrótce potem rozpoczął się wyścig technologii jądrowych, w którym obowiązywała tylko jedna zasada wyrażona słowami – szybciej, mocniej, więcej. Droga do totalnego zniszczenia stanęła otworem.

W tym miejscu warto się nieco cofnąć i podjąć wysiłek odpowiedzi na wcześniej postawione pytania. Unikalność czy też doniosłość odkrycia zjawiska rozszczepienia jąder atomowych polegała nie tyle na możliwościach fizycznych, choć te były niezwykle, ale na ogromnym, niewyobrażalnym wcześniej potencjale rażenia, który ówczesny świat militarny wyrócił do góry nogami. Powstały zupełnie nowe możliwości w zakresie prowadzenia i rozstrzygnięcia wojen, co skwapliwie wykorzystano zrzucając bomby jądrowe na miasta japońskie. Aby zrozumieć zmianę, która zaszła warto przytoczyć kilka obliczeń. W ówczesnych czasach podstawowym materiałem wybuchowym był trójnitrotoluen (trotyl), który wykorzystano do kalkulacji mocy wybuchu, jako doskonały punkt odniesienia. Wiadomo było, iż 1000 ton trotylu (1 kilotona – 1 kt) uwalnia energię równą $4,186 \times 10^{12}$ J. Stąd już łatwo wyliczyć energię pochodzącą z eksplozji jądrowych, którą ze względów praktycznych zaczęto wyrażać w tzw. równoważnikach trotylowych – kilotonach lub megatonach. Szczegółowe kalkulacje mocy wybuchu jądrowego przedstawiono na rysunku 1.



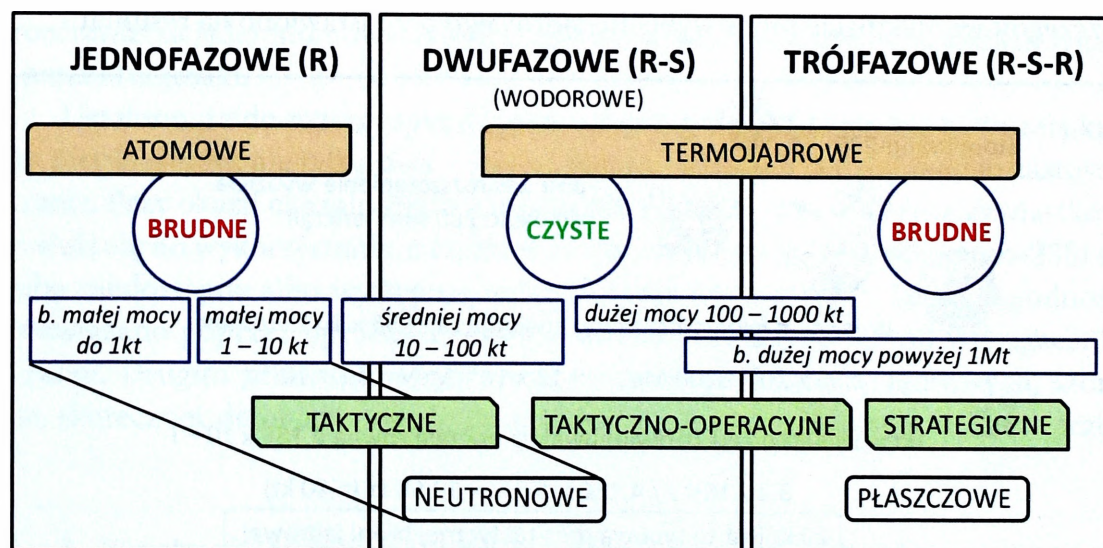
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ch.S. Grace, *Nuclear weapons Principles, Effects and Survivability*, Brassey's, London 1994, s. 16.

Rysunek 1. Kalkulacja mocy wybuchu ładunku jądrowego

Z informacji przedstawionych na rysunku 1 wynika, że jeden kilogram materiału jądrowego może zastąpić 20 tysięcy ton konwencjonalnego materiału wybuchowego. I to właśnie ta kolosalna, niewiarygodna wprost dysproporcja mocy najlepiej definiuje rangę odkrycia zjawiska rozszczepienia jądra atomowego i możliwości jego bojowego (i nie tylko) wykorzystania⁸. Zastosowania bojowe bardzo szybko spowodowały gwałtowny rozwój technologii jądrowych i w rezultacie doprowadziły do powstania szeregu konstrukcji, które ze względu na cel, który zamierzano osiągnąć mocno się różniły.

1.1.2. Typologia broni jądrowej

Różnorodność poszczególnych typów ładunków jądrowych wprowadza sporo zamieszania w klasyfikacji, zwłaszcza, że same ładunki nie zawsze decydują o roli, czy też sposobach lub możliwościach użycia broni jądrowej. Aby temu zaradzić należy jasno sprecyzować kryteria, według których powstanie odpowiednia klasyfikacja. Wśród najczęściej stosowanych kryteriów podziału na ogół wymienia się: rodzaj ładunku (reakcji), liczba faz, stopień skażenia promieniotwórczego, moc wybuchu oraz zastosowanie na polu walki. Przykładowy podział ładunków jądrowych z uwzględnieniem wymienionych kryteriów przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Podział ładunków jądrowych

8 O wykorzystaniu energii jądrowej szerzej znajdziemy w: S. Glasstone, *Sourcebook on atomic energy*, D. Van Nostrand Company, Inc, Toronto, Princeton, New Jersey, London, Melbourne, third edition 1967.

Przedstawiony na rysunku 2 podział ładunków jądrowych nie jest idealny i z pewnością nie oddaje wszystkich możliwych kombinacji⁹. Mimo to zawiera większość istotnych cech oraz informacji, które dość dobrze oddają istotę poszczególnych rodzajów ładunków jądrowych i możliwości ich wykorzystania. Generalizując wszystkie ładunki jądrowe mogą być konstruowane, jako konstrukcje jedno- dwu- lub trójfazowe. Każda z nich ma nie tylko inną budowę, ale także bardzo różne zastosowanie.

Ładunki jednofazowe to przede wszystkim wczesne konstrukcje, które ze względu na niewielkie możliwości rażenia oraz stosunkowo prymitywne parametry konstrukcyjne, nie stanowią dziś większego wyzwania zarówno dla ich budowy, jak i użycia. Ze względu na dobrą znajomość tej technologii ładunki tego typu, pomimo licznych ograniczeń, są wciąż popularne, zwłaszcza jako broń taktyczna. W tym miejscu potrzebne jest jednak małe wyjaśnienie, gdyż broń taktyczna nie poddaje się jednoznacznej definicji. Podczas Zimnej Wojny za taką broń uważano takie konstrukcje (ładunki plus środki przenoszenia), które miały znacznie mniejszy zasięg niż broń strategiczna i jako takie były przewidziane do wykorzystania wyłącznie w skali taktycznej. Taki sposób rozumowania był jednak typowy tylko dla dużych państw, takich jak: USA i ZSRR, które posiadały pełną triadę broni strategicznej, natomiast pozostali posiadacze broni jądrowej podchodzili do tej typologii bardziej elastycznie, traktując swoje zasoby jako strategiczne, nawet jeśli zasięg środków przenoszenia nie przekraczał kilkuset kilometrów¹⁰.

Ładunki jednofazowe bazują na reakcji rozszczepienia jąder uranu-235 lub plutonu-239 i pierwotnie zwane były „bronią atomową”. Należy jednak zaznaczyć, że nazwa ta nie jest poprawna, gdyż reakcje rozszczepienia nie zachodzą na poziomie atomowym, jak wszystkie reakcje chemiczne, tylko na poziomie jądrowym. Energia, która jest wytwarzana, pochodzi bowiem z jądra atomowego, a nie z całego atomu. Mimo to, ze względów historycznych, nazwa ta wciąż funkcjonuje, choć stosowana jest zazwyczaj w języku potocznym.

Główne państwa jądrowe, czyli Stany Zjednoczone, Rosja, Francja, Chiny i Wielka Brytania w swoich arsenałach posiadają konstrukcje znacznie bardziej zaawansowane, których moc oscyluje w zakresie 100 kt–3 Mt. Wśród nich większość to konstrukcje dwufazowe, które pomimo ograniczeń wynikających z układu o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej, są wciąż modernizowane

9 Por. J. Pięta, *Broń neutronowa*, MON, Warszawa 1986.

10 H.M. Kristensen, *Non-Strategic Nuclear Weapons*, Federation of American Scientists, Special Report No 3, Washington 2012, s. 8.

i doskonałone¹¹. Ładunki dwufazowe często mają też inne nazwy, takie jak: fuzyjne, wodorowe, czy termojądrowe. Skąd więc takie zróżnicowanie?

Pierwsza nazwa wynika z nieco innego sposobu pozyskiwania energii. Co prawda, w pierwszej fazie zachodzi typowa reakcja rozszczepienia jąder ciężkich (uranu-235 lub plutonu 239), jednak potem energia, która się wydziela¹² zapoczątkowuje reakcje syntezy jąder lekkich (głównie izotopy wodoru i litu) w jądra helu. Przez lata opracowano przynajmniej kilka wariantów wykorzystania reakcji syntezy, z których najbardziej znane to: bomba atomowa ze wzmacniaczem (*boosted fission weapons*), bomba wodorowa Tellera-Ulama, konstrukcja typu budzik/przekładaniec (*the alarm clock/layer cake design*) oraz bomba neutronowa. Każda z nich miała swoją specyfikę i określone przeznaczenie, jednak we wszystkich przypadkach chodziło o zniesienie najważniejszych ograniczeń broni rozszczepieniowej, takich jak: niski stopień wykorzystania materiału jądrowego, ograniczony limit zwiększania mocy ładunków, wysokie koszty konstrukcji jądrowych¹³, a także stosunkowo duże gabaryty i bardzo duża waga.

Szczególnym rodzajem konstrukcji termojądrowych są ładunki neutronowe, które różnią się od wszystkich pozostałych małym wagomiarom i sposobem wykorzystania wytworzonej energii. O ile w pozostałych typach broni jądrowej większość energii rozdzielana jest na wytworzenie fali uderzeniowej i promieniowania cieplnego, to w ładunkach neutronowych głównym czynnikiem rażenia jest promieniowanie neutronowe. Ładunki te są skonstruowane w taki sposób, że neutrony uwalniane w reakcjach jądrowych nie tylko nie są absorbowane wewnątrz ładunku, ale wręcz kierowane na zewnątrz. To powoduje, że silny strumień neutronów penetruje najbliższą okolicę wokół wybuchu w znacznie większej odległości niż fala uderzeniowa oraz promieniowanie cieplne, przenikając nawet przez mocno opancerzone cele (na przykład czołgi). W efekcie załogi czołgów narażone są na otrzymanie bardzo dużych dawek promieniowania (około 80 Gy), które prawie natychmiast wyłączają je z dalszych działań, powodując śmierć w bardzo krótkim czasie¹⁴. Wyliczono, że przy wybuchu bomby o mocy 1 kt taką dawkę otrzymają załogi czołgów w promieniu 690 metrów¹⁵. Zwiększając

11 Zob. H.M. Kristensen, R.S. Norris, *Slowing nuclear weapon reduction and endless nuclear weapon modernisations: A challenge to the NPT*, Bulletin of the Atomic Scientists 2014, Vol. 70(4), s. 94–107.

12 Chodzi o wytworzenie bardzo wysokiej temperatury, przy której materiał fuzyjny przechodzi w stan plazmy umożliwiając połączenie swobodnych cząstek i utworzenie nowych jąder.

13 Najbardziej kosztowny (i czasochłonny) jest proces wzbogacanie uranu oraz produkcja plutonu.

14 Dla porównania dawka śmiertelna LD₅₀ dla człowieka wynosi 3–4 Gy.

15 Zob. C. Sublette, *Nuclear Weapons Frequently Asked Questions*, version 2.25, August 2001, <http://nuclearweaponarchive.org/Nwfaq/Nfaq0.html>, stan na dzień 3.05.2016.

odległość od epicentrum wybuchu wielkość pochłanianej dawki znacząco spada, co spowodowane jest osłabianiem energii neutronów przez atomy atmosfery.

Śmiertelne oddziaływanie promieniowania neutronowego nie jest jedynym efektem użycia broni neutronowej. Oprócz tego, neutrony mają dużą zdolność do wywoływania aktywności wzbudzonej, która jest spowodowana ich wychwytem przez różne pierwiastki w pobliżu epicentrum wybuchu. W rezultacie napromienione czołgi (inne obiekty, także ziemia itp) stają się silnie radioaktywne, co stwarza poważne zagrożenie przez okres kilkudziesięciu godzin.

Wśród wymienionych konstrukcji termojądrowych można wymienić też takie, u których da się wyróżnić trzy fazy działania. W pierwszej zachodzi reakcja rozszczepienia uranu-235 lub plutonu-239, wytwarzająca temperaturę, odpowiednio wysoką do zajścia reakcji syntezy jąder lekkich. Ta z kolei, traktowana, jako faza druga jest potrzebna do zapoczątkowanie fazy trzeciej, w której dochodzi do następnej reakcji rozszczepienia, lecz tym razem w reakcji udział biorą jądra uranu-238. W tym momencie rodzą się pytania – po co tak to komplikować i do czego to w ogóle potrzebne? Aby na nie odpowiedzieć musimy znać zasadniczy cel użycia broni jądrowej, a jak wiadomo jest nim wytworzenie takiej ilości energii, która umożliwi masowe rażenie ludności, sprzętu bojowego i obiektów na znacznych obszarach. Uzyskiwanie dużych energii w pierwszej fazie jest ograniczone ze względów konstrukcyjnych, dlatego do zwiększenia mocy wybuchu wprowadzono drugi stopień, w którym wykorzystuje się reakcje syntezy. Okazało się jednak, że gdyby doprowadzić do detonacji trzeciego członu (zewnętrzna warstwa z uranu-238), który zwyczajowo stanowi reflektor neutronów to wydajność energetyczna mogłaby być 10–100 razy większa. Standardowo uran-238 jest nierozszczepiany, jednak powstające w reakcji syntezy neutrony mają bardzo dużą energię, która wystarcza do przeprowadzenia rozszczepienia (od 5 MeV). Wykorzystanie „płaszcz” trzeciego członu pozwala na znaczne zwiększenie mocy wybuchu. Minusem jest natomiast bardzo duże skażenie, kwalifikujące ten typ broni jądrowej do kategorii „brudnych”. Były też pomysły, aby w trzeciej fazie wykorzystać „płaszcz” ze specjalnych materiałów np.: złota, kobaltu lub cynku, dzięki którym skażenia byłyby jeszcze większe i to przez długi czas¹⁶.

Dla odmiany testowano także „płaszcz”, które nie powodowały skażenia. W takim przypadku zamiast warstwy uranu-238 stosowano materiał nierozszczepialny np.: ołów lub wolfram. Najbardziej znanym przykładem takiej konstrukcji była największa na świecie bomba jądrowa znana, jako „Car bomba”. Jej moc określono na około 58 Mt, z czego tylko 3% energii pochodziło z reakcji rozszczepienia, reszta zaś z syntezy. Tym samym mogła być uznana za broń „czystą”.

16 Jedyną znaną próbę z bronią kobaltową przeprowadzili Brytyjczycy 14 września 1957 roku w Australii. Próbę uznano za nieudaną.

Przedstawione informacje w żaden sposób nie wyczerpują problemu, stanowią bowiem jedynie jego namiastkę, która wskazuje na wagę i zasadnicze możliwości budowania ładunków jądrowych. W rzeczywistości liczba i zakres możliwości konstrukcyjnych takich ładunków są dużo większe i znacznie wykraczają poza ustalone ramy książki¹⁷. Obecnie broń jądrową posiada dziewięć państw. Aktualny stan arsenałów jądrowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Siły jądrowe świata w 2015 roku

Państwo	Strategiczne w stanie gotowości	Nie strategiczne w stanie gotowości	W rezerwie poza gotowością	Łącznie w składach wojskowych	Razem z głowicami do demontażu
Rosja	1790	0	2800	4490	7290
Stany Zjednoczone	1750	180	2300	4670	6970
Francja	280	nie dotyczy	10	300	300
Chiny	0	?	260	260	260
W. Brytania	120	nie dotyczy	95	215	215
Izrael	0	nie dotyczy	80	80	80
Pakistan	0	nie dotyczy	110–130	110–130	110–130
India	0	nie dotyczy	100–120	100–120	100–120
Korea Płn.	0	nie dotyczy	?	?	?
RAZEM	~ 4000	~180	~6110	~10240	~15350

Źródło: <http://fas.org/issues/nuclear-weapons/status-world-nuclear-forces/> stan na 3.05.2016.

Liczby zamieszczone w tabeli 1 wskazują, że broń jądrowa pomimo szeregu działań, podejmowanych na rzecz redukcji jej arsenałów, wciąż jest obecna i nic nie wskazuje na to, że wkrótce się to zmieni. W ostatnich latach widać też tendencję do akcentowania możliwości użycia broni jądrowej w ewentualnych konfliktach zbrojnych. Z drugiej strony dotychczasowa, raczej skromna historia użycia broni jądrowej może budzić uzasadnione wątpliwości, co do potrzeby jej wykorzystania, czy nawet samego jej posiadania.

17 Więcej na temat nowoczesnych konstrukcji jądrowych czytelnik znajdzie w: A. Gsponer, J-P. Hurni, *The physical principles of thermonuclear explosives, inertial confinement fusion, and the quest for fourth generation nuclear weapons*, report INESAP Conference, Shanghai, China, September 8–10, 1997, wydanie 2002.

1.1.3. Czynniki rażenia broni jądrowej

Rażące działanie broni jądrowej opiera się na wykorzystaniu energii wyzwalanej podczas reakcji jądrowych. Podział energii uwalnianej podczas wybuchu może być różny, zależny od mocy ładunku, jego rodzaju, sposobu wykonania eksplozji oraz warunków zewnętrznych. Szczególnie niszczące są dwa główne czynniki rażenia, czyli fala uderzeniowa i promieniowanie cieplne¹⁸. W obu przypadkach mamy do czynienia z wyjątkowo destrukcyjnym wpływem tych czynników na ludzi, sprzęt i otoczenie. Co więcej, ich oddziaływanie następuje bardzo szybko, wywołując widoczne efekty w postaci silnych uszkodzeń ciała, czy oparzeń. Podobnie wygląda oddziaływanie na obiekty, sprzęt i wyposażenie, gdzie dochodzi do zniszczenia domów, przewrócenia pojazdów, zapalenia lasów, budynków itp. W wybuchach konwencjonalnych zachodzą podobne zjawiska, ale ich skala jest zupełnie nieporównywalna, gdyż moc ładunków jądrowych wyrażana jest jako ekwiwalent wybuchu tysięcy (kt) lub milionów (Mt) ton trotylu.

Taka dysproporcja stanowi istotną różnicę, jednak podstawową cechą, odróżniającą wybuch jądrowy od konwencjonalnego jest występowanie promieniowania jądrowego w postaci promieniowania przenikliwego, powstającego podczas reakcji rozszczepienia (syntezy) jąder atomowych lub resztkowego emitowanego przez cząstki pyłu promieniotwórczego. Trzeba przy tym pamiętać, że promieniowanie jądrowe nie manifestuje swojego działania przez długi okres po wybuchu, skupiając naszą uwagę na bardziej spektakularnych zjawiskach, takich jak błysk kuli ognistej, grzmot i wstrząs wywołany falą uderzeniową oraz monstrualny grzyb samego wybuchu. I właśnie ta, trudna do zauważenia, właściwość stanowi specyficzną, niepowtarzalną i bardzo niebezpieczną cechę broni jądrowej.

Wybuch jądrowy, wywołany reakcjami jądrowymi, prowadzi do wydzielenia ogromnej ilości energii, co następuje w bardzo małej objętości materii i w niezwykle krótkim czasie (ułamków sekund). Początkowo większość uwalnianej energii występuje w postaci miękkiego promieniowania rentgenowskiego, które będąc absorbowane przez otaczającą atmosferę, doprowadza do bardzo silnego wzrostu temperatury i sformowania świecącej sfery gorących gazów zwanej kulą ognistą. W efekcie powstaje intensywnie świecąca masa, w której temperatura dochodzi do dziesiątek milionów stopni Celsjusza. Taka temperatura powoduje, że wszystkie elementy ładunku jądrowego, produkty rozszczepienia oraz cząstki otaczającego powietrza przechodzą w stan plazmy. Wraz z rozwojem kuli ognistej następuje jej stopniowe schładzanie, co powoduje, że energia emitowana w postaci promienio-

18 W typowych konstrukcjach jądrowych na falę uderzeniową przypada 50% energii, a na promieniowanie cieplne 35% – M. Nejman, K. Sadilenko, *Broń termojądrowa*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony narodowej, Warszawa 1959, s. 130.

wania świetlnego znacznie maleje i po upływie około minuty kula ognista staje się niewidoczna¹⁹. Powstaje za to silnie sprężona warstwa ośrodka, która otacza kulę ognistą i przemieszcza się pod wpływem ciśnienia kuli. Po jakimś czasie ekspansja kuli ognistej ustaje i następuje oddzielenie się *fali uderzeniowej*²⁰.

Fala uderzeniowa rozprzestrzenia się we wszystkich kierunkach, oddziałując na różne ośrodki materialne, stałe, ciekłe i gazowe. Czasami jednak mamy do czynienia z równoczesnym oddziaływaniem fali na kilka ośrodków. Dzieje się tak na przykład przy niskich wybuchach powietrznych, gdzie fala uderzeniowa dochodzi do ziemi lub do dużego zbiornika wodnego. W efekcie, oprócz powietrznej fali uderzeniowej, powstają także fale w wodzie i fale sejsmiczne w ziemi.

Cały obszar, w którym porusza się fala uderzeniowa nie jest jednorodny, dlatego można go podzielić na dwie umowne strefy: strefę nadciśnienia (sprężania) oraz strefę podciśnienia (rozrzedzenia)²¹. Rozpatrując strefę nadciśnienia mamy do czynienia z tzw. nadciśnieniem statycznym, które jest różnicą pomiędzy ciśnieniem całkowitym a ciśnieniem atmosferycznym. Oprócz tego w literaturze występuje też inny rodzaj ciśnienia – ciśnienie dynamiczne. Zjawisko to jest spowodowane przekazywaniem części energii fali uderzeniowej cząsteczkom otaczającego powietrza. W efekcie ruch cząsteczek powietrza prowadzi do powstania dość silnych wiatrów zwanych „wiatrami podmuchu”²². Podobnie jak każdy wiatr wytwarzają one swoje własne ciśnienie, które dla odróżnienia nazwano dynamicznym. Właśnie to ciśnienie odgrywa zasadniczą rolę podczas rażącego oddziaływania na ludzi i inne obiekty o niewielkich wymiarach.

Fala uderzeniowa napotykać przeszkody ulega odbiciu, w wyniku czego następuje nakładanie się fali padającej i odbitej. W rezultacie powstaje jednolite czoło fali zwane czołową falą uderzeniową, która rozprzestrzenia się wzdłuż powierzchni ziemi. Powstałe w ten sposób zjawisko nosi nazwę „*odbicia Macha*” lub „*odbicia nieregularnego*”²³. Wraz ze wzrostem odległości od punktu zerowego wysokość fali czołowej jest coraz większa i w pewnym momencie jest już na tyle duża, że wszystkie obiekty naziemne znajdują się w jej strefie oddziaływania. W efekcie dochodzi do zniszczenia lub uszkodzenia większości obiektów w re-

19 Dla bomby o mocy 1 Mt – zob. S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, third edition, wyd. cyt., s. 28.

20 Więcej na temat powstawania i oddziaływania fali uderzeniowej w: J. Solarz, *Czynniki rażenia broni jądrowej*, cz. IV, *Fala uderzeniowa*, „Zeszyty Naukowe AON”, Warszawa 2004, nr 1.

21 Ze względu na niewielkie znaczenie fazy podciśnienia w niektórych publikacjach jest ona pomijana – A. Głuszko, L. Markow, L. Pigulin, *Broń atomowa i obrona przeciwatomowa*, Warszawa, MON 1959.

22 Nazywane też siłami przyspieszonego naporu – A. Głuszko, L. Markow, wyd. cyt., s. 101.

23 Zob. S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, wyd. cyt., s. 88.

jonie wybuchu oraz poważnych obrażeń u ludzi. Relacje między ciśnieniem dynamicznym, a nadciśnieniem statycznym oraz prędkością wiatru przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Ciśnienie dynamiczne, prędkość wiatru i nadciśnienie statyczne wybuchu

Szczyt nadciśnienia						
w kPa	10	20	50	100	200	500
w psi	1.45	2.90	7.25	14.5	29.0	72.5
Szczyt ciśnienia dynamicznego						
w kPa	0,35	1,37	8,26	31,0	110	516
w psi	0,05	0,20	1,20	4,5	16,0	74,8
Maksymalna prędkość wiatru						
w m/s	23	44	100	176	292	524
w km/h	89	158	360	633	1051	1886

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ch.S. Grace, *Nuclear weapons Principles...*, wyd. cyt., s. 51.

Wartości przedstawione w tabeli 2 wskazują, że pomiędzy nadciśnieniem statycznym a ciśnieniem dynamicznym istnieje stała zależność. Przy małych wartościach nadciśnienia statycznego ciśnienie dynamiczne jest wielokrotnie mniejsze (np. dla nadciśnienia 10 kPa ciśnienie dynamiczne jest prawie 30 razy mniejsze). Warto jednak zaznaczyć, że wzrost ciśnienia i nadciśnienia nie następuje w sposób jednakowy, bo na przykład 10-krotny wzrost nadciśnienia statycznego (do 100 kPa) powoduje znacznie większy wzrost ciśnienia dynamicznego (do 31 kPa), czyli ponad 88 razy. Przełomowym punktem porównania jest wartość 482 kPa, która dla obu rodzajów ciśnień jest jednakowa. Powyżej tej wartości ciśnienie dynamiczne jest już większe niż nadciśnienie statyczne.

Same parametry ciśnienia nic nam jednak nie dadzą, jeśli nie porównamy ich z siłą i efektami oddziaływania na obiekty i organizmy żywe. Zbigniew Jaśtak²⁴ przytacza konkretne przykłady skutków działania fali uderzeniowej, według których całkowite zniszczenie większości obiektów, urządzeń i wyposażenia następuje już przy ciśnieniu 500 kPa. Pięciokrotnie mniejsza wartość wystarcza do wywołania bardzo ciężkich obrażeń u ludzi, natomiast przy ciśnieniu równym 50 kPa dochodzi do całkowitego zniszczenia budynków murowanych, a przy 5 kPa do całkowitego zniszczenia oszklenia.

Z przytoczonych wartości wynika, że odporność budynków na falę uderzeniową jest dość mocno zróżnicowana. Podobnie zróżnicowana jest odporność

24 Z. Jaśtak, *Informator o skutkach działania broni jądrowej*, MON, Warszawa 1971, s. 55.

różnego rodzaju sprzętu i wyposażenia. Najbardziej wrażliwe są: samoloty, śmigłowce i sprzęt telekomunikacyjny. Ulegają uszkodzeniu na znacznych odległościach od punktu zerowego wybuchu, już przy nadciśnieniu około 10 kPa. Statki są wrażliwe na ciśnienie o wielkości 20 kPa, a systemy lądowe, w zależności od ich rodzaju, ulegają destrukcji przy wartościach nadciśnienia rzędu 50–200 kPa²⁵. Przykładowe zasięgi zniszczeń przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Zasięg zniszczenia sprzętu spowodowanego falą uderzeniową

Moc wybuchu	1 kt		1 Mt	
	zasięg (m)	nadciśnienie (kPa)	zasięg (m)	nadciśnienie (kPa)
czołgi	170	275	2700	150
artyleria	200	200	3200	120
ludzie (podatni)	240	160	3800	100
pojazdy lekkie	300	125	4800	60
budynki przemysłowe	350	110	5500	50
domy z cegieł	750	27	7500	27
napowietrzne linie telefoniczne	760	55	7900	30

Źródło: Ch.S. Grace, *Nuclear weapons Principles, Effects...*, wyd. cyt., s. 58.

Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że wraz ze wzrostem mocy ładunku minimalne nadciśnienie na czole fali uderzeniowej potrzebne do zniszczenia lub uszkodzenia techniki jest coraz mniejsze. Jest to spowodowane tym, iż czas trwania fazy nadciśnienia wybuchów o dużej mocy jest znacznie dłuższy, niż w przypadku wybuchów o małym wagomiarze. To powoduje, że mniejsze ciśnienie, lecz trwające dłużej niszczy obiekty tak samo skutecznie jak ciśnienie większe, ale działające krótko.

Duże znaczenie na zakres i rodzaj zniszczeń ma także wysokość wybuchu. W przypadku wybuchów naziemnych zasięg obszaru silnego nadciśnienia jest średnio o 1/3 większy niż przy wybuchach powietrznych. Jednak już przy ciśnieniu mniejszym niż 30 kPa większy zasięg oddziaływania ma wybuch powietrzny. Istotne znaczenie ma to jednak tylko wtedy, gdy rozpatrujemy wpływ wybuchu na sprzęt i obiekty najbardziej wrażliwe, w innych przypadkach małe ciśnienie nie stanowi większego problemu.

Równie ważnym, a może i ważniejszym aspektem oddziaływania fali uderzeniowej jest jej wpływ na ludzi. Doświadczenia bazujące na wynikach próbnym wybuchów jądrowych wskazują, że główną przyczyną uszkodzeń i zranień ludzi

25 Ch.S. Grace, *Nuclear weapons Principles, Effects...*, wyd. cyt., s. 51.

są siły podmuchu. Jednakże bezpośrednio oddziaływanie nadciśnienia, zwłaszcza o dużej wartości, także będzie wpływać na powstawanie poważnych obrażeń lub nawet śmierć, choć głównie w pobliżu wybuchu²⁶.

Uderzenie fali o powierzchnię ciała powoduje powstanie nadciśnienia, które przemieszcza się w tkankach i narządach z dużą prędkością. Jeżeli wielkość ciśnienia przewyższa określoną wartość, którą może wytrzymać dany rodzaj tkanki, następuje jej uszkodzenie. Najbardziej wrażliwe na działanie fali uderzeniowej są narządy zawierające dużą ilość gazów i płynów (płuca, jelita, mózg, pęcherzyk moczowy), a także narządy mięsiste, mocno ukrwione (wątroba, śledziona)²⁷. Ponadto fala uderzeniowa może wyrządzić znaczne szkody na połączeniach między tkankami o różnej gęstości (kości, mięśnie). Nagminne są też pęknięcia błon bębenkowych, które jednak nie mają większego wpływu na zdrowie i życie ludzi.

Wielkość nadciśnienia, przy którym dochodzi do śmiertelnych porażen nie jest łatwa do określenia, gdyż odporność poszczególnych ludzi waha się w dość dużym zakresie. Zwykle podawane są wartości od 193 kPa do 262 kPa²⁸, chociaż można też spotkać informacje, że 50% śmiertelność występuje dopiero przy nadciśnieniu 400 kPa²⁹. Przedstawione informacje skłaniają do wniosku, że ciało człowieka ma dość zróżnicowaną odporność na działanie nadciśnienia, często znacznie większą niż wiele, pozornie odporniejszych konstrukcji, takich jak np. budynki.

Fala uderzeniowa może spowodować obrażenia ludzi nieukrytych poprzez ugodzenie ich odłamkami gruzu, szyb, czy innymi przedmiotami lub poprzez gwałtowne przemieszczanie całego ciała. Źródłem tych obrażeń są silne wiatry podmuchu, które zależą od odległości od punktu zerowego wybuchu, jego mocy i wysokości. Czas trwania tych sił jest stosunkowo krótki, lecz ich intensywność bardzo duża, przekraczając często setki kilometrów na godzinę. Tak duża prędkość oddziaływań powoduje, że zdecydowana większość obrażeń występuje w postaci zmięddeń, złamań i potłuczeń.

Siły podmuchu są na tyle duże, że stosunkowo łatwo przenoszą wszelkie nieprzymocowane obiekty, a ponadto niszczą i przewracają trwałe struktury na przykład budynki, drzewa itp. Zdarzenia te mogą spowodować poważne uszkodzenia ciała podobne do tych powstałych podczas trzęsienia ziemi lub bombardowania. Ciało ludzkie może także stać się pociskiem i zostać przerzucone na duże

26 Wyróżnia się dwa rodzaje działania fali uderzeniowej na ludzi – bezpośrednio – spowodowane nagłymi i dużymi zmianami ciśnienia w otoczeniu (nadciśnienie i podciśnienie) oraz – pośrednio – spowodowane przez latające odłamki różnych obiektów bądź przemieszczaniem całego ciała, często na znaczne odległości.

27 Z. Bałtrukiewicz, *Wybrane zagadnienia sanitarno-medyczne ochrony radiologicznej*, CLOR, Warszawa 1978, s. 21.

28 *Treatment of nuclear and radiological casualties*, Washington 2001, s. 2–8.

29 Ch.S. Grace, *Nuclear Weapons Principles...*, wyd. cyt., s. 56.

odległości, zależne od siły wiatrów i warunków środowiska. Ten rodzaj obrażeń nazywamy obrażeniami przemieszczeniowymi. Prawdopodobieństwo i stopień obrażeń zależą od prędkości ciała podczas upadku oraz tego, jaka jego okolica uderzy o przeszkodę (głowa, plecy, kończyny itp.).

Ilość odłamków, które mogą być wykorzystane przez wiatry podmuchu zależy od środowiska, a szczególnie od ilości dostępnych materiałów w konkretnym terenie. Jednakże nawet przy małej ich ilości siły naporu są tak duże, że wszystko, co jest w zasięgu zamienia się w latające pociski. Prawdopodobieństwo porażenia rośnie wraz z obecnością dużej liczby małych, ostrych fragmentów takich jak: szkło i kamienie. Duże tępe przedmioty mogą być również niebezpieczne, choć do przebiccia ciała człowieka potrzebują znacznie więcej energii kinetycznej i dlatego ich rażące działanie polega zwykle na wywoływaniu złamań i uszkodzeń zewnętrznych ciała.

Okazuje się więc, że działanie fali uderzeniowej na ludzi i obiekty nie sprowadza się tylko do działania nadciśnienia. W tym czasie występują też porażenia cieplne oraz obrażenia spowodowane zmiennymi wiatrami podmuchu. Ich intensywność, w tym zdolność do wywoływania obrażeń, jest tak duża, że obrażenia pochodzące od bezpośredniego nadciśnienia statycznego będą tylko niewielką częścią całkowitych porażenia.

Działanie fali uderzeniowej na obiekty różni się też w zależności od rodzaju i wysokości wybuchu jądrowego. Podczas wybuchów podwodnych oprócz fali uderzeniowej, która rozchodzi się w wodzie mamy często do czynienia z koncentrycznie rozchodzącą się falą morską, której wysokość³⁰, prędkość i zasięg rozprzestrzeniania się zależą od mocy ładunku i głębokości, na której nastąpił wybuch. Fala ta ma ogromną siłę niszczycielską, stanowiącą poważne zagrożenie dla obiektów nawodnych i przybrzeżnych w odległości wielu kilometrów od epicentrum wybuchu. Z kolei w przypadku wybuchów podziemnych fala uderzeniowa zachowuje się jak typowa fala sejsmiczna, podobna do fal powstających po trzęsieniach ziemi.

Zjawiska powstające podczas formowania kuli ognistej są także źródłem drugiego z czynników rażenia wybuchu jądrowego, jakim jest *promieniowanie cieplne*, zwane też *światlnym*³¹. Stwierdzono³², że w bardzo krótkim czasie tem-

30 Wysokość fal morskich dochodzi nieraz do kilkudziesięciu metrów – zob. S. Siergiejew, W. Rjabczuk, *Wybuch atomowy na morzu*, MON, Warszawa 1957, s. 10.

31 W literaturze zachodniej dominuje pojęcie promieniowanie cieplne (*thermal radiation*), natomiast w rosyjskiej – promieniowanie światłne (*световое излучение*).

32 Wszystkie kalkulacje wykonywane były w latach 1945–1960 i odnoszą się do wybuchu powietrznego o mocy 20 kt.

peratura kuli ognistej w całej swojej objętości osiąga wartość około 300 000 K³³. Jednak już po 0,2–0,3 sekundy od wybuchu utrata energii na promieniowanie oraz ochładzanie się kuli ognistej w trakcie jej powiększania powoduje znaczny spadek temperatury. Następnie temperatura dalej się obniża, aby po 1 sekundzie od wybuchu osiągnąć wartość 5000 K. W tym czasie promień kuli ognistej wynosi około 150 m. Po upływie kolejnych dwóch sekund promień kuli powiększa się do 200 m a sama kula przestaje intensywnie świecić.

Temperatura kuli ognistej decyduje o rodzaju promieniowania, które jest emitowane. Im jest ona wyższa, tym więcej energii pochodzi ultrafioletowej części widma, o długości mniejszej niż 0,186 μm . Fakt ten nie ma jednak większego znaczenia, gdyż ten rodzaj promieniowania jest całkowicie pochłaniany przez otaczające powietrze. W dalszej fazie rozwoju kuli ognistej temperatura obniża się, powodując wzrost długości emitowanego promieniowania oraz przesunięcie widma w kierunku zakresu widzialnego i podczerwonego. Przedstawiono to w tabeli 4.

Tabela 4

Widmo promieniowania świetlnego w zależności od temperatury

Temperatura powierzchni [K]	Promieniowanie ultrafioletowe	Promieniowanie widzialne	Promieniowanie podczerwone
2000	–	2%	98%
4000	2%	28%	70%
6000	13%	45%	42%
8000	32%	43%	25%

Źródło: M.P. Archipow, *Promieniowanie świetlne wybuchu atomowego*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1957, s. 119.

Wartości przedstawione w tabeli 4 pozwalają uznać, że pod koniec świecenia kuli ognistej zdecydowana większość emitowanego promieniowania to promieniowanie podczerwone. Wynika to z bardzo szybkiego ochładzania się kuli ognistej od wartości kilkuset tysięcy kelwinów do kilku tysięcy. Warto przy tym zauważyć, że przy temperaturze 2000 K udział promieniowania podczerwonego jest prawie całkowity (98%). Jednak mimo tak drastycznego spadku temperatury nie można powiedzieć, że jest ona niska.

Rozpatrując rażący wpływ promieniowania ciepłego (świetlnego) zazwyczaj odnosimy się do całkowitej ilości energii świetlnej, która pada na jednostkę powierzchni, prostopadłej do osi promieniowania, przez cały okres świecenia kuli ognistej. Zgodnie

33 A. Iwanow, G. Rybkin, *Działanie rażące wybuchu jądrowego*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1960, s. 119.

z tym w literaturze, zwłaszcza rosyjskiej, tę ilość energii nazwano impulsem świetlnym³⁴, wyrażanym w kilokaloriach na centymetr kwadratowy lub dżulach na metr kwadratowy. Zależy on od szeregu czynników, z których najważniejsze to:

- ilość energii świetlnej wypromieniowanej przez kulę ognistą w czasie całego okresu jej świecenia;
- odległość oświetlanej powierzchni od epicentrum wybuchu;
- warunki atmosferyczne w czasie emisji promieniowania;
- wysokość wybuchu³⁵.

Wynika z tego, że znając wielkość całkowitej energii wybuchu oraz proporcje podziału na poszczególne czynniki rażenia można, w pewnym przybliżeniu wyliczyć wartość impulsów świetlnych, które przypadają na określoną powierzchnię. Trzeba przy tym uwzględnić fakt, że promieniowanie świetlne rozchodzi się koncentrycznie we wszystkich kierunkach, co powoduje, iż wartość impulsu świetlnego jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od środka wybuchu. Jednak wszystkie kalkulacje będą prawdziwe tylko wtedy, gdy atmosfera nie będzie miała wpływu na rozchodzenie się promieniowania świetlnego. Zazwyczaj jednak atmosfera zawiera niewielką ilość różnych domieszek (woda, pył, dym, sadza itp.), które będą interferowały, osłabiając promieniowanie ciepłe poprzez rozpraszanie i pochłanianie.

Rozpraszanie, to zjawisko polegające na zmianie prostoliniowego kierunku promieni światła przez cząstki znajdujące się w atmosferze. Istnieje przy tym zależność, że im więcej pyłu, dymu i kropelek wody tym większe rozproszenie. Taka zmiana kierunku rozchodzenia się promieniowania świetlnego może być w pewnych warunkach bardzo niebezpieczna prowadząc do porażenia ludzi w otwartych obiektach. Drugim zjawiskiem jest pochłanianie energii świetlnej przez cząstki pyłu, pary wodnej, cząsteczek tlenu, ozonu, dwutlenku węgla itp. W tym przypadku pochłonięcie energii powoduje przekazanie całego ciepła nowemu obiektowi prowadząc do jego nagrzania. Przy kalkulacji wielkości impulsów świetlnych wpływ atmosfery uwzględnia się stosując odpowiednie współczynniki osłabienia.

Przykładowe wartości impulsów świetlnych w różnych odległościach od punktu zerowego wybuchu o mocy 20 kt przedstawiono w tabeli 5. Z danych, które w niej przedstawiono wynika, że w czasie złej pogody, w tej samej odległości od epicentrum wybuchu porażenie promieniowaniem świetlnym może być znacznie mniejsze niż podczas dobrych warunków atmosferycznych. Jednocześnie okazuje się, że w złych warunkach rażące działanie promieniowania świetlnego jest słabsze niż fali uderzeniowej i promieniowania przenikliwego. Z kolei przy dobrej pogodzie to właśnie ten czynnik rażenia może osiągać największy zasięg.

34 M.P. Archipow, *Promieniowanie świetlne...*, wyd. cyt., s. 122.

35 A. Iwanow, G. Rybkin, *Działanie rażące wybuchu jądrowego*, wyd. cyt., s. 127.

Tabela 5

Impulsy świetlne [k]/m²] w różnych odległościach od wybuchu w zależności od wartości współczynnika osłabiania promieniowania świetlnego [k]

	0 km	0,18 km	0,25 km	0,4 km	0,5 km	0,75 km	1 km	1,5 km	2 km	2,5 km	3 km	3,5 km
K = 0					4 184	3 054	2 301	1 130	670	376	272	167
K = 0,2				3 766	2 970	1 840	1 297	670	326	167	84	46
K = 2	2 384	2 090	1 675	1 130	1 046	502	260	75				

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Iwanow, G. Rybkin, wyd. cyt, s. 134.

Sam impuls świetlny nie daje nam jednak informacji, jaki będzie jego wpływ na napromienione obiekty. Aby się tego dowiedzieć należy poznać, w jaki sposób zachowuje się energia świetlna padająca na dane ciało. Okazuje się, że istnieje kilka możliwości oddziaływań, może być częściowo pochłaniana, odbijana lub w przypadku ciał przezroczystych może przez nie przenikać. Większość obiektów w przyrodzie jest nieprzezroczysta, dlatego można przyjąć, że promieniowanie świetlne jest albo pochłaniane albo odbijane. Trzeba jednak dodać, że rozpatrując rażące działanie promieniowania świetlnego praktyczne znaczenie ma tylko pochłanianie, natomiast odbijanie można pominąć.

Pochłaniając energię każde ciało zostaje podgrzane. Jednak stopień podgrzania (temperatura), nie jest jednakowy³⁶, co wynika ze zróżnicowanych możliwości poszczególnych ciał i obiektów w zakresie pochłaniania energii. W efekcie, zależnie od temperatury dojdzie do wystąpienia różnorodnych zmian fizycznych, takich jak: zwęglenie, stopienie, zapalenie się materiałów, a w przypadku ludzi i zwierząt także do oparzeń ciała i porażenia oczu.

Ilość energii promieniowania świetlnego pochłaniana przez jeden centymetr kwadratowy danego ciała nazywamy impulsem cieplnym. Obliczamy go mnożąc następujące składniki: impuls świetlny, współczynnik pochłaniania oraz cosinus α (kąta zawartego między kierunkiem rozprzestrzeniania się światła i prostopadłą do naświetlanej powierzchni)³⁷. W efekcie przy takiej samej wartości impulsu świetlnego stopień porażenia danego ciała może być bardzo różny, w zależności od ilości pochłoniętej energii.

Rażące skutki promieniowania świetlnego wybuchu jądrowego zależą nie tylko od samej ilości energii świetlnej, ale też od czasu jej oddziaływania. Zazwyczaj promieniowanie świetlne kuli ognistej charakteryzuje się dużym natężeniem oraz krótkim czasem trwania. A to oznacza, że następuje szybki dopływ bardzo

36 W zależności od rodzaju i właściwości obiektu, a szczególnie jego barwy, grubości i wielkości przewodnictwa cieplnego.

37 A. Iwanow, G. Rybkin, wyd. cyt, s. 143.

dużych ilości ciepła, którego dane ciało nie jest w stanie rozprzewadzić po całej głębokości materiału lub odprowadzić na zewnątrz. W rezultacie temperatura naświetlanej powierzchni bardzo się podnosi doprowadzając do zniszczenia materiału. Zupełnie inna sytuacja wystąpiłaby gdyby pochłanianie takiej samej ilości promieniowania świetlnego trwało znacznie dłużej, wówczas energia zostałaby rozprzewadzona w głąb materiału lub przekazana otoczeniu. To z kolei oznacza, że temperatura powierzchni byłaby na tyle niska, że ewentualne uszkodzenia byłyby niewielkie lub żadne.

Z powyższych rozważań wynika, że przy takiej samej wielkości impulsu świetlnego powstałego podczas wybuchu dwóch bomb o różnej mocy stopień porażenia będzie większy w przypadku wybuchu, którego czas świecenia kuli ognistej będzie krótszy. Tłumaczymy to dłuższym czasem świecenia kuli ognistej podczas wybuchów większej mocy, co powoduje, że natężenie naświetlania (*irradiance*)³⁸ jest mniejsze.

Każde ciało poddane naświetlaniu posiada ściśle określoną i właściwą tylko dla niego granicę odporności na oddziaływanie promieniowania, której przekroczenie prowadzi do jego uszkodzenia (zapalenia, zwęglenia, oparzenia). Na tę odporność składa się szereg czynników, takich jak: przewodnictwo cieplne, grubość i wilgotność materiału, pojemność cieplna oraz sposób zabezpieczenia. W przypadku wybuchów jądrowych dostarczanie ciepła następuje bardzo szybko i w bardzo dużej ilości, dlatego przy destrukcji decydujące znaczenie ma impuls świetlny. Stosownie do tego o zniszczeniu, czy porażeniu decydować będzie ilość energii świetlnej padającej na jednostkę naświetlanej powierzchni. Wyróżniamy przy tym trzy rodzaje skutków – pożary, oparzenia i uszkodzenie wzroku.

W trakcie próbnych wybuchów jądrowych ustalono, że pożary będą powstawać w odległości od 800 do 3000 metrów od punktu zerowego wybuchu o mocy 20 kt. Duża ich część nie przetrwa przejścia fali uderzeniowej i zostanie ugaszona. Mimo to nawet krótki okres występowania pożarów może doprowadzić do bardzo poważnych zniszczeń, szczególnie w stosunku do obiektów drewnianych, papierowych, suchych traw, lasów i upraw, a także farb i innych materiałów łatwopalnych. Bardziej odporne materiały, takie jak: opony, tworzywa sztuczne lub ciężkie tkaniny mogą ulec zwęgleniu, natomiast elementy metalowe mogą się odkształcić, zmieniając przy tym ich odporność na falę uderzeniową. Równie mało odporne na promieniowanie cieplne są systemy elektryczne, optyczne i elektroniczne.

38 Natężenie promieniowania (ang. *irradiance*) to termin rzadko stosowany i często mylony. Oznacza strumień promieniowania na jednostkę powierzchni lub inaczej impuls świetlny otrzymany w czasie. Jednostką jest W/m^2 lub $J/m^2 \times s$.

Rażące oddziaływanie promieniowania świetlnego na ludzi i zwierzęta przejawia się przede wszystkim w postaci oparzeń i uszkodzeń wzroku. Trzeba jednak dodać, że oparzenia mogą występować zarówno w sposób bezpośredni, jak i pośredni. Te pierwsze są zwykle bezpośrednim efektem błysku kuli ognistej, natomiast oparzenia pośrednie wywołane są działaniem ognia już w czasie pożarów. Niejako przy okazji występować też będą inne obrażenia, spowodowane przez kontakt człowieka z gorącymi, a często i trującymi gazami, które powstały na skutek pożarów i wysokiej temperatury. Z. Bałtrukiewicz wyróżnia cztery stopnie oparzeń. Są to:

- I – zaczerwienienie skóry, przy natężeniu naświetlania od 85 kJ/m^2 do 170 kJ/m^2 na sekundę;
- II – powstawanie pęcherzy, przy natężeniu naświetlania od 170 kJ/m^2 do 420 kJ/m^2 na sekundę;
- III – rozległe ogniska martwicy, a nawet zwęglenia skóry i tkanek głębszych, przy natężeniu naświetlania od 420 kJ/m^2 do 630 kJ/m^2 na sekundę;
- IV – zwęglenie rozległych obszarów ciała, przy natężeniu naświetlania powyżej 630 kJ/m^2 na sekundę³⁹.

Drugim rodzajem obrażeń są uszkodzenia oczu, zwane często „ślepotą błysku”. Termin ten może być mylący, gdyż rzeczywista ślepota występuje bardzo rzadko, natomiast dużo bardziej prawdopodobne będą olśnienia i oparzenia siatkówki. Prawdopodobieństwo wystąpienia tych ostatnich wynosi 2–3%, z czego tylko w kilku przypadkach może dojść do trwałej utraty wzroku. Ustalono, iż uszkodzenia wzroku mogą występować na znacznie większych odległościach niż oparzenia skóry, szczególnie podczas dobrej pogody, a zwiększone niebezpieczeństwo występuje w nocy, gdy nasze oczy są szeroko otwarte.

Spośród wszystkich efektów oddziaływania broni jądrowej najbardziej specyficznym, a jednocześnie najmniej spektakularnym są efekty wywoływane przez promieniowanie. Znamy wiele rodzajów promieniowania, które ze względu na swą naturę doczekały się różnych podziałów. Mamy więc promieniowanie korpuskularne i elektromagnetyczne, jonizujące i niejonizujące, przenikliwe i nieprzenikliwe oraz wiele innych. Które więc jest efektem użycia broni jądrowej? Okazuje się, że odpowiedź wcale nie jest taka prosta, bowiem wszystko zależy od parametrów wybuchu, a szczególnie od rodzaju ładunku i sposobu jego użycia. Nie wdając się w szczegółowe rozważania można jednak stwierdzić, że chodzi o promieniowanie jądrowe, czyli promieniowanie alfa, beta, gamma i neutronowe⁴⁰. Ich natura,

39 Z. Bałtrukiewicz, *Wybrane zagadnienia...*, wyd. cyt., s. 27.

40 W pierwszej fazie wybuchu większość energii wydziela się w postaci promieniowania rentgenowskiego, które jednak szybko interferuje z otoczeniem tworząc falę uderzeniową i promieniowanie ciepłe. Dodatkowo promieniowanie rentgenowskie nie pochodzi z jądra atomu.

tryb powstawania oraz sposób oddziaływania z materią są bardzo różne, dlatego zazwyczaj wymagają osobnego rozpatrywania. Dodatkowo, mówiąc o promieniowaniu jądrowym wybuchu jądrowego mamy na uwadze dwa odmienne czynniki rażenia. Ich nazewnictwo może być jednak mylące, zwłaszcza, że piśmiennictwo traktuje je w sposób bardzo różny. W materiałach zachodnich występują pojęcia – promieniowania początkowego (*initial radiation*) oraz resztkowego (*residual radiation*). Odpowiednikami powyższych, ale w piśmiennictwie rosyjskim (i polskim), jest promieniowanie przenikliwe i promieniotwórcze skażenie terenu.

Promieniowanie przenikliwe to pierwotne promieniowanie gamma i neutronowe, które przedostaje się do otaczającej przestrzeni w pierwszej minucie po wybuchu⁴¹. Zasadniczym jego źródłem są reakcje rozszczepienia uranu (plutonu) lub/i syntezy jąder lekkich zachodzące podczas eksplozji. Oprócz tego promieniowanie przenikliwe emitowane jest także z powstających produktów rozszczepienia oraz innych substancji promieniotwórczych, które znalazły się w powstającym obłoku promieniotwórczym.

Oba rodzaje promieniowania, choć bardzo od siebie różne mają jedną wspólną cechę. Jest nią duży zasięg rozprzestrzeniania (przenikania) spowodowany brakiem ładunku elektrycznego i małą zdolnością jonizacji. Jest to jednak jedyna ich wspólna cecha, gdyż poza tym różnią się między sobą w wielu różnych aspektach. Z tego też powodu oba rodzaje promieniowania przenikliwego zazwyczaj są rozpatrywane oddzielnie. Promieniowanie gamma to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego, które charakteryzuje się najmniejszą długością fali (poniżej 1 Å) oraz największą energią (powyżej 10 keV)⁴². W powietrzu rozprzestrzenia się podobnie jak światło – prostoliniowo i z tą samą prędkością 300 000 km/s.

Promieniowanie gamma wybuchu jądrowego nie ma jednorodnego pochodzenia. Zamiast tego wyróżniamy przynajmniej trzy jego źródła. Są to, w kolejności powstawania – *promieniowanie natychmiastowe* – emitowane w trakcie rozszczepienia jąder uranu lub plutonu; *promieniowanie wychwytowe* – powstające wskutek interakcji neutronów z jądrami atomów powietrza (przy wychwycie neutronów lub ich rozproszeniu) oraz *promieniowanie odłamkowe* – emitowane przez powstałe produkty rozszczepienia.

Podobnie jak inne rodzaje promieniowania jonizującego, kwanty promieniowania gamma, będą oddziaływały z atomami ośrodka, lecz w specyficzny dla siebie sposób. Trzeba bowiem zauważyć, że cząstki, które posiadają ładunek elek-

41 Czas oddziaływania promieniowania przenikliwego ustalony na 1 minutę od wybuchu jest wprowadzony sztucznie, gdyż w rzeczywistości emisja neutronów następuje w ułamku sekundy, a promieniowania gamma maksymalnie w przeciągu kilkunastu sekund.

42 Jest to bardzo niejasny podział, gdyż przedstawione zakresy pokrywają się z zakresami właściwymi dla promieniowania rentgenowskiego. Dlatego też, dla ich rozróżnienia zazwyczaj podawane są źródła danego promieniowania, a nie ich parametry fizyczne.

tryczny (cząstki alfa i beta) szybko tracą swoją energię w drodze bardzo licznych zderzeń z atomami ośrodka (ponad 100 000), co powoduje, że ich zasięg jest bardzo ograniczony. Inaczej jest w przypadku kwantów gamma, które zanim natrafią na atomy ośrodka zdążą pokonać znaczne odległości. Jeśli jednak dojdzie do zderzenia to zwykle tracą całą swą energię lub znaczną jej część. W efekcie powstają cząstki naładowane (zwykle elektrony), które mając dość dużą energię powodują silną jonizację ośrodka⁴³.

Kwenty gamma przechodząc przez dany ośrodek mogą tracić swą energię na trzy sposoby – w efekcie *pochłaniania fotoelektrycznego*, *rozpraszania comptonowskiego* oraz w wyniku *tworzenia par elektron-pozyton*.

Pochłanianie fotoelektryczne polega na oddziaływaniu kwantu gamma na elektron atomu, prowadzącym do całkowitego wchłonięcia padającego kwantu przez atom. Niewielka część energii kwantu gamma zużywa się na przezwyciężenie energii wiązania elektronu w atomie, a pozostała część na nadanie elektronowi szybkości. Wyrzucone elektrony jonizują następnie atomy substancji, które spotykają na swojej drodze, co jest charakterystyczną różnicą w sposobie wywoływania jonizacji pomiędzy promieniowaniem gamma, a innymi rodzajami promieniowania. Pochłanianie fotoelektryczne będzie tym większa, im większa jest gęstość substancji oraz przy małych energiach padającego fotonu (najlepiej poniżej 50 keV).

Przy większych energiach promieniowania gamma dominującym zjawiskiem jest *rozpraszanie Comptonowskie*. Podobnie jak poprzednio występuje ono przy zderzeniu się kwantów gamma z elektronami atomów, przy czym padający kwant gamma przekazuje część swojej energii elektronowi, a część unosi ze sobą zmieniając kierunek ruchu. Rozproszony kwant gamma porusza się dalej pod pewnym przypadkowym kątem w stosunku do swojego pierwotnego kierunku, przy czym kąt ten jest tym mniejszy, im większą energię miał kwant pierwotny. Strumień rozproszonych kwantów gamma tworzy tzw. promieniowanie rozproszone, które w odróżnieniu od równoległej wiązki kwantów gamma nie ma wyraźnie określonego kierunku rozprzestrzeniania się. Proces rozpraszania comptonowskiego może następować wielokrotnie, prowadząc do zamiany twardych kwantów gamma na miękkie, a w rezultacie, po obniżeniu energii do małych wartości, doprowadzić do pochłonięcia fotonu w procesie pochłaniania fotoelektrycznego.

Ostatnim rodzajem oddziaływania kwantów gamma z otoczeniem jest zjawisko *tworzenia par elektron – pozyton*. Jest to bardzo specyficzne zjawisko zachodzące przy bardzo dużych energiach kwantów gamma, głównie w atomach o dużych liczbach atomowych. Gdy padający foton gamma znajdzie się w zasięgu sił

43 Przykładowo elektrony o energii do 1 MeV, są w stanie przebyć w powietrzu drogę 4 metrów i wytworzyć w każdym centymetrze swojej drogi około 75 par jonów.

jądrowych następuje jego całkowite pochłonięcie, a w jego miejsce pojawiają się dwie cząstki o odmiennych znakach: elektron i pozyton⁴⁴. Tak powstały elektron może funkcjonować przez dłuższy czas, mając przy tym bardzo silne właściwości jonizacyjne. Natomiast pozyton jest cząstką wyjątkowo nietrwałą dlatego szybko dochodzi do jego rekombinacji z wolnym elektronem, w wyniku której powstają dwa fotony gamma o energii 0,511 MeV każdy i przeciwnych kierunkach propagacji. Takie zjawisko nosi nazwę anihilacji.

Taki sposób oddziaływania promieniowania gamma z materią powoduje, że zanim dojdzie do całkowitego przekazania energii fotonów elektronom penetrują one ośrodek na stosunkowo dużą głębokość (grubość). Istnieje przy tym zależność, według której zasięg fotonów gamma jest odwrotnie proporcjonalny do gęstości ośrodka. Wyliczono, że w tkance ludzkiej fotony gamma tracą 50% swojej energii po przebyciu 23 cm⁴⁵. To zaś oznacza, że promieniowanie gamma wybuchu jądrowego ma bardzo dużą zdolność penetracji ciała ludzkiego i to w całej jego objętości. Zasięg promieniowania gamma w powietrzu w zależności od wysokości i jego gęstości przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6

Skuteczny zasięg kwantów gamma w powietrzu na różnych wysokościach

Wysokość wybuchu (km)	0	5	10	15	20
Zasięg kwantów gamma (m)	250	420	740	1600	3400

Źródło: A. Iwanow, G. Rybkin, wyd. cyt., s. 223.

Analizując dane przedstawione w tabeli 6 łatwo zauważyć, że zmiana gęstości powietrza powoduje drastyczną zmianę zasięgu promieniowania. Przykładowo, gdy wybuch jest wykonany na wysokości 20 kilometrów zasięg promieniowania gamma jest prawie 14 razy większy, niż ma to miejsce w przypadku wybuchu naziemnego.

Drugim rodzajem promieniowania przenikliwego jest promieniowanie neutronowe. Jego istota oraz właściwości fizyczne są diametralnie inne niż promieniowania gamma, a mimo to oba rodzaje promieniowania mają porównywalną przenikliwość. Z fizycznego punktu widzenia jest to strumień neutronów, czyli cząstek subatomowych, tzw. nukleonów, które nie posiadają ładunku elektrycznego. I właśnie ta właściwość powoduje, że mogą one pokonywać duże odległości bez większego oddziaływania z atomami ośrodka. Tłumaczy się to tym, iż podczas ich przemieszczania neutrony nie są w stanie oddziaływać na elektrony or-

44 Minimalna energia padającego fotonu, niezbędna do utworzenie takiej pary, wynosi 1,02 MeV. Nadwyżka energii fotonu wykorzystana jest do nadania im odpowiedniej energii kinetycznej.

45 Ch.S. Grace, *Nuclear weapons Principles, Effects...*, wyd. cyt., s. 66.

bitalne atomów, a jedynie na ich jądra, zwłaszcza te o niskiej liczbie atomowej. Dodatkowo, jądra atomów wcale nie są łatwe do trafienia, dlatego ewentualne oddziaływania w relacji neutron–jądro atomowe zachodzą stosunkowo rzadko.

W zależności od sposobu ich powstawania neutrony mogą mieć bardzo różną energię. Przykładowo neutrony termiczne, tak przydatne w reaktorach jądrowych mają energię rzędu 0,025 eV⁴⁶. W wybuchach jądrowych powstają neutrony o znacznie większych energiach zwane prędkimi. Przykładowo w reakcjach rozszczepienia energia neutronów może być bardzo różna, chociaż w większości przypadków powstają neutrony o energii 1 MeV (maksymalnie kilka MeV)⁴⁷. W reakcjach syntezy jądrowej ich energia może osiągać jeszcze większe wartości, nawet ponad 14 MeV⁴⁸.

Wszystkie neutrony powstające w reakcjach syntezy oraz zdecydowana większość neutronów pochodzących z reakcji rozszczepienia (ponad 99%) pojawia się prawie natychmiast (10^{-14} s), dlatego nazywamy je *natychmiastowymi*. Dla odmiany 0,73% neutronów powstających w reakcji rozszczepienia pochodzi z przemian jądrowych niektórych produktów rozszczepienia, na przykład baru-141 i kryptonu-92. Czas ich powstawania jest zdecydowanie dłuższy niż neutronów natychmiastowych i zwykle waha się w granicach 0,1–100 sekund⁴⁹. Z tego powodu neutrony tego typu noszą nazwę *opóźnionych*⁵⁰.

Neutrony, nie posiadają ładunku elektrycznego, dlatego bez problemu omijają elektrony na powłokach i zbliżają się do jądra atomowego, gdzie dochodzi do zderzenia. W jego efekcie zachodzą zjawiska rozpraszania neutronów lub ich wychwyty (pochłanianie).

Rozpraszanie neutronów to proces polegający na częściowym przekazaniu energii neutronu do jądra atomu, przy czym rozpraszanie może być sprężyste lub niesprężyste. Przy rozproszeniu sprężystym część energii zostaje przekazana jądru, które zaczyna się poruszać pod kątem zależnym od kąta uderzenia. Używszy odpowiednią energię, jonizuje później kolejne atomy spotkane na swojej

46 Jest to energia porównywalna z energią ruchu cieplnego w temperaturze pokojowej.

47 Można przyjąć, że prawie wszystkie neutrony powstające w reakcji rozszczepienia to neutrony prędkie. Jednak podczas zderzeń z jądrami atomów następuje częściowa utrata energii kinetycznej, co prowadzi do ich spowolnienia. W efekcie neutrony emitowane z obszaru wybuchu mogą mieć bardzo różne energie, odpowiadające zarówno neutronom prędkim, jak i termicznym.

48 Neutrony o takiej energii (dokładnie 14,06 MeV) otrzymujemy w reakcji jąder deuteru i trytu.

49 J. Kubowski, *Broń jądrowa, fizyka budowa działanie skutki historia*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008, s. 29.

50 Opóźnione promieniowanie neutronowe może mieć znaczny wpływ na ogólną dawkę promieniowania neutronowego. Ich propagacja następuje już po rozpadzie konstrukcji bomby, która nie pochłania emitowanych neutronów tak, jak to jest w przypadku neutronów natychmiastowych.

drodze. Neutron, po odbiciu od jądra, porusza się już z mniejszą prędkością i w innym kierunku. Po zetknięciu się z kolejnymi jądrami neutron oddaje następną porcję energii, aż w wyniku kolejnych zderzeń jego prędkość, nie stanie się równa prędkości bezładnego ruchu cieplnego cząsteczek otoczenia. Zauważono też, że przekazywanie energii przez neutron przebiega tym skuteczniej, im bardziej masa jądra zbliżona jest do masy neutronu. Zgodnie z tym neutrony osłabiane są najskuteczniej w substancjach zawierających wodór⁵¹, takich jak woda, parafina, wosk, asfalt itp. Owe substancje nazywa się moderatorami (spowalniaczami).

W drugim przypadku rozproszenie neutronów następuje w wyniku zderzeń niesprężystych. Dochodzi do nich po zderzeniu neutronu z atomami o większych masach. W rezultacie pochłonięcia neutronu jądro zaczyna się poruszać, a następnie dochodzi do emisji neutronu o znacznie mniejszej energii. W tym czasie jądro pozostaje w stanie wzbudzone, po czym nadmiar energii zostaje wyemitowany w postaci kwantu gamma.

Wychwył neutronów to drugi sposób oddziaływania neutronów z otoczeniem. Jednak inaczej niż w przypadku rozpraszania jest to zjawisko typowe dla neutronów spowolnionych, które po zderzeniu przekazują całą swą energię do jądra atomu. Początkowo powstaje jądro wzbudzone, które jednak szybko się rozpada emitując cząstkę lub kwant gamma. Podczas wychwytu zachodzą liczne reakcje jądrowe, zwane czasem neutronowymi. Istnieje przy tym przynajmniej kilka możliwych kombinacji, z których najczęściej zachodzą:

- utworzenie jądra złożonego oraz wydzielenie jednego lub kilku kwantów gamma (wychwył promieniotwórczy);
- rozpad jądra złożonego połączony z emisją protonu. Reakcja zachodzi zwykle z pierwiastkami o niewielkiej liczbie atomowej;
- rozpad jądra złożonego połączony z emisją cząstek alfa;
- reakcja, której towarzyszy emisja dwóch neutronów. Występuje tylko podczas oddziaływania neutronów o bardzo dużej energii;
- rozszczepienie jądra złożonego na dwa nowe jądra. Reakcja przebiega tylko w przypadku niektórych pierwiastków o dużej liczbie atomowej np. uranu, toru, plutonu.

Prawdopodobieństwo wystąpienia reakcji rozpraszania i wychwytu neutronów charakteryzuje się tzw. efektywnym przekrojem czynnym σ , który określa się jako średnią liczbę zderzeń neutronów z jądrami atomów zachodzących w jednostce objętości napromieniowanej substancji w przeliczeniu na jeden neutron padającego strumienia i na jedno jądro w jednostce objętości substancji.

51 Jądro wodoru to w zasadzie jeden proton, którego masa jest prawie identyczna z masą neutronu.

Niezależnie od sposobów oddziaływania neutronu z jądrem ośrodka za każdym razem neutron będzie oddawał część (lub całą) swojej energii, przekazując ją do danego ośrodka. W przypadku człowieka pochłaniana energia nie będzie mu obojętna, a przy dużych jej wartościach może być bardzo niebezpieczna. W dozymetrii energię promieniowania pochłoniętą przez dane ciało nazywa się dawką promieniowania. Łatwo zauważyć, że całkowita dawka pochłonięta od promieniowania przenikliwego będzie sumą dawek pochodzących od promieniowania gamma oraz neutronowego. Jednak ich udział w dawce całkowitej rzadko będzie jednakowy, głównie dlatego, że dystrybucja energii mocno zależy od mocy wybuchu, a także od jego rodzaju. Przykład rozkładu dawki pochłanianej od neutronów i fotonów gamma przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7

Rozkład dawki pochłanianej od neutronów i promieniowania gamma

Moc wybuchu (kt)	Dawka neutronów	Dawka neutronów	Zasięg dla dawki całkowitej 2600 cGy
	Dawka gamma	Dawka całkowita	
0,1	4,6	0,82	360 m
1,0	3,0	0,75	650 m
10,0	1,6	0,62	1 040 m
100,0	0,47	0,32	1 500 m
1 000,0	0,042	0,04	2 280 m

Źródło: *The medical aspects of NBC defensive operations*, part I, Washington 1996, s. 2–23.

Z informacji przedstawionych w tabeli 7 wynika, że wzrost mocy ładunku jądrowego powoduje znaczny spadek roli promieniowania neutronowego na korzyść promieniowania gamma. Wyjątkiem są wybuchy ładunków neutronowych, które ze względu na małą moc oraz specjalną konstrukcję umożliwiają wielokrotny wzrost promieniowania neutronowego.

Działanie promieniowania jonizującego na człowieka jest jednym z najważniejszych problemów współczesnej dozymetrii. Trzeba jednak zauważyć, że oprócz człowieka, wrażliwość na promieniowanie wykazują też różne obiekty, materiały, sprzęt czy urządzenia. Jednak jak dotąd, jedynymi materiałami, które mają podobną do człowieka wrażliwość na promieniowanie jądrowe są urządzenia półprzewodnikowe oraz niektóre systemy optyczne, szczególnie te oparte na technice światłowodowej. Zjawiska powstające podczas oddziaływania promieniowania przenikliwego przyjęto definiować jako przejściowy wpływ promieniowania na elektronikę⁵². Ważne jest jednak, że chociaż działanie promieniowania jest przejściowe to jego skutki mogą mieć charakter trwały. Działa ono niszcząco

52 TREE – transient radiation effects on electronic.

na urządzenia elektroniczne, powoduje matowienie szkieleł, świecenie niektórych substancji, naświetla materiały fotograficzne oraz wtórnie aktywuje cząsteczki sprzętu i otoczenia.

Oddziaływanie promieniowania na sprzęt radioelektroniczny zależy głównie od rodzaju promieniowania. Okazuje się, że kwanty gamma nie wywołują trwałych uszkodzeń w sprzęcie i urządzeniach. Zupełnie inaczej zachowują się neutrony, które oddziałując z jądrami atomów urządzenia trwale naruszają jego właściwości fizyczne i chemiczne. W rezultacie dochodzi do zmiany charakterystyki podzespołów elektronicznych, a czasami nawet do ich całkowitego zniszczenia.

Warto także dodać, że oprócz bezpośredniego oddziaływania promieniowania na sprzęt elektroniczny promieniowanie gamma jest również źródłem powstawania *impulsu elektromagnetycznego*, który już przy niewielkich wartościach energii jest w stanie doprowadzić do zniszczenia lub uszkodzenia większości delikatnych urządzeń elektronicznych i to na znacznym obszarze. Jest to czynnik rażenia broni jądrowej o zdecydowanie odmiennym charakterze, który ze względu na swą istotę postrzegany jest jedynie, jako zagrożenie dla sprzętu, a szczególnie dla wszelkiego rodzaju systemów radiolokacyjnych, telekomunikacyjnych, energetycznych itp.

Aby dokładnie zrozumieć istotę impulsu elektromagnetycznego konieczne jest zrozumienie pewnych zależności, zachodzących podczas naziemnych i powietrznych wybuchów jądrowych. Wysokość wybuchu ma przy tym kluczowy wpływ, zarówno na sam proces generacji, jak i na charakter pola elektromagnetycznego. Zgodnie z tym rozpatrywane są wybuchy: endo-atmosferyczne wykonane na wysokości poniżej 30 km (w tym także naziemne) oraz egzo-atmosferyczne na wysokości powyżej 40 km.

Olbrzymia intensywność natychmiastowego impulsu gamma powoduje, że pole elektryczne⁵³ osiąga bardzo wysoką wartość rzędu kilkudziesiąt kilowoltów na metr (kV/m) w ciągu kilku nanosekund. Szczytowa wartość tego pola występuje w momencie, gdy separacja ładunków jest maksymalna. Na skutek działania tego pola elektrony zaczynają poruszać się w kierunku środka wybuchu z powrotem do swoich macierzystych jonów, z którymi mogą rekombinować. Powoduje to drugi impuls prądowy, który ze względu na znacznie mniejszą prędkość poruszania się elektronów wtórnych trwa znacznie dłużej niż impuls pierwotny.

53 Kwanty gamma zderzają się z elektronami atomów otaczającego powietrza oddając im większość energii (zjawisko Comptona). Następuje jonizacja atomów, a powstałe w ten sposób elektrony Comptona poruszają się z ogromną prędkością, podczas, gdy jony, ze względu na swoją masę oraz znacznie mniejszą energię, stoją praktycznie w miejscu. Ten intensywny ruch elektronów na zewnątrz tworzy prąd elektryczny zwany prądem Comptona, co w efekcie prowadzi do wytworzenia pola elektrycznego skierowanego na zewnątrz wybuchu.

Powstające pola elektryczne indukują bardzo wysokie napięcia we wszystkich przewodnikach, które znajdują się na ich drodze, powodując zniszczenie lub uszkodzenie podłączonych do nich urządzeń. Największym problemem dla urządzeń elektronicznych jest niekontrolowany przepływ prądu pomiędzy nimi, co powoduje lokalne przegrzanie i permanentne zmiany parametrów ich pracy.

Prądy wzbudzone impulsem płyną także w liniach energetycznych, liniach telefonicznych, w kablach różnego typu a nawet w metalowych rurach z wodą. Są w ten sposób źródłem przepięć, które z kolei są bezpośrednią przyczyną przebicia izolacji urządzeń elektrycznych, przewodów, kabli, transformatorów; uszkodzenia lub zniszczenia różnego typu izolatorów, elementów aparatury oraz przepalenia środków zabezpieczających.

Stwierdzono, że już niewielkie wartości energii wystarczą do zniszczenia większości delikatnych urządzeń elektronicznych, ponadto w wielu wypadkach nastąpi też zniszczenie izolacji kabli oraz kondensatorów. Czasami też, może dochodzić do zakłócenia możliwości poprawnego funkcjonowania określonych urządzeń, zwłaszcza w systemach komputerowych, w których niektóre komponenty (pamięć operacyjna, dyskowa lub procesory) są bardzo wrażliwe na tego typu oddziaływanie.

Mało odporne na impuls elektromagnetyczny są także systemy telekomunikacyjne, w których wytrzymałość wykorzystywanych tam przewodów i aparatury nie jest zbyt duża. Ustalono jednak, że naprawdę niebezpieczne przepięcia będą występować tylko w bezpośredniej styczności z epicentrum wybuchu, czyli tam gdzie materializują się zdecydowanie bardziej niebezpieczne efekty pozostałych czynników rażenia. To zaś oznacza, że ewentualne straty i uszkodzenia spowodowane przez impuls elektromagnetyczny w tym obszarze można całkowicie zignorować.

Przepięcia osiągają największą wartość podczas naziemnych i bardzo niskich powietrznych wybuchów jądrowych. Dla odmiany, w trakcie wybuchów podziemnych i niskich powietrznych impuls nie ma większego znaczenia. Największy wpływ destrukcyjny występuje natomiast, gdy wybuchy jądrowe zostaną wykonane na dużych wysokościach. W takich przypadkach jego zasięg może wynosić setki kilometrów⁵⁴ i będzie to jedyny czynnik rażenia wybuchu, którego skutki będą oddziaływały na powierzchnię ziemi.

Ciekawym efektem impulsu elektromagnetycznego jest proces, w którym następuje jego oddziaływanie na ziemskie pole magnetyczne. Podczas wybuchu resztki ładunku jądrowego przechodzą w stan plazmy, która ulegając rozszerzeniu naciska na linie ziemskiego pola magnetycznego. W ten sposób powstają ugięcia

54 Panuje przy tym zasada, im wyżej, tym większy zasięg oddziaływania, na przykład, kiedy wybuch nastąpi na wysokości 400 metrów wówczas oddziaływanie impulsu na elektronikę będzie miało zasięg 2200 km we wszystkich kierunkach od epicentrum wybuchu.

tego pola zwane falą magnetohydrodynamiczną. Fala ta z kolei rozprzestrzenia się wokół ziemi wytwarzając niskie pole elektryczne rzędu ułamka wolta na metr, które powoduje różnorodne interakcje, mogące trwać nawet do 100 sekund. Ocenia się, że wpływ tego zjawiska na systemy wojskowe jest raczej niewielki, jednak w innych systemach, bardziej podatnych na takie oddziaływania (np. w narodowych sieciach energetycznych) mogą powstawać duże, prawie niekierunkowe prądy, które niszczą lub uszkadzają ich elementy (np. transformatory mocy).

Z militarnego punktu widzenia (i nie tylko) równie ważnym efektem oddziaływania impulsu elektromagnetycznego są zakłócenia w propagacji fal radiowych. Jonizacja atmosfery wywołana przez impuls, wpływa bowiem na transmisję fal o odpowiedniej częstotliwości powodując ich zakłócenie lub całkowity paraliż przez wiele godzin po wybuchu jądrowym.

Stwierdzono przy tym, że charakter i zakres zakłóceń zależy od miejsca⁵⁵ propagacji fal radiowych oraz od ich częstotliwości (lub długości). Fale przyziemne na ogół są niewrażliwe na działanie impulsu elektromagnetycznego, chyba że w linii bezpośredniej widoczności pojawi się obszar silnie zjonizowany. Z kolei fale przestrzenne są dużo bardziej podatne na oddziaływanie impulsu, głównie dlatego, że ewentualne zakłócenia mogą występować na dużych obszarach, często w znacznych odległościach od epicentrum wybuchu.

Ze wszystkich rodzajów fal radiowych najbardziej odporne na skutki impulsu elektromagnetycznego są fale bardzo długie VLF (bardzo niskiej częstotliwości) oraz ultrakrótkie UHF (bardzo wysokiej częstotliwości). W przypadku tych drugich ewentualne zakłócenia mogą wystąpić jedynie w przypadku pojawienia się silnie zjonizowanych obszarów w linii wzroku i to tylko na kilka minut.

Nieco gorzej wypadają fale długie i średnie LF i MF (niskiej i średniej częstotliwości), które mogą pracować zarówno jako fale przyziemne, jak i przestrzenne. W przypadku propagacji przyziemnej impuls elektromagnetyczny powoduje zwiększenie zasięgu fal radiowych, natomiast gdy korzystamy z fal przestrzennych następuje silne ich pochłanianie przez jonosferę, co w rezultacie prowadzi do znacznego osłabienia zasięgu lub utraty łączności.

Najbardziej wrażliwa na zakłócenia powstałe w wyniku powietrznych wybuchów jądrowych jest jednak łączność, bazująca na falach krótkich HF (wysokiej częstotliwości). Fale te są wykorzystywane do łączności na dalekie odległości i jako takie, w przypadku wybuchów egzosferycznych, będą prawie całkowicie pochłaniane uniemożliwiając prawidłowe funkcjonowanie łączności.

Ostatnim czynnikiem rażenia wybuchu jądrowego jest *promieniotwórcze skażenie terenu*, które w piśmiennictwie zachodnim nosi nazwę promieniowania

55 Wyróżnia się fale przyziemne, rozchodzące się wzdłuż powierzchni ziemi i wody oraz przestrzenne, rozchodzące się w górnych warstwach atmosfery.

resztkowego (*residual radiation*). Jego istota, sposób powstawania oraz właściwości decydują o możliwościach funkcjonowania wojsk i ludności w warunkach użycia broni jądrowej, zwłaszcza po naziemnych wybuchach jądrowych. To zaś powoduje konieczność podejmowania decyzji w trudnych warunkach zagrożenia skażeniami, które przy niewłaściwych rozwiązaniach mogą doprowadzić do utraty zdrowia lub życia zagrożonych wojsk i ludności cywilnej. Szczegółowe rozważania nad naturą skażeń i zakresem ich prognozowania zostaną przedstawione w rozdziałach następnych.

1.2. Działanie promieniowania na organizm ludzki

Skutki działania wybuchów jądrowych na organizm ludzki zostały opisane w wielu publikacjach. Szczególnie destrukcyjne jest oddziaływanie fali uderzeniowej oraz promieniowania ciepłego, zwłaszcza w stosunku do ludzi znajdujących się w bliskim sąsiedztwie wybuchu, bez ukryć i materiałów ochronnych. Tematyka niniejszej książki ograniczona jest jednak, tylko do zagadnień związanych ze skutkami skażeń jądrowych, które występują pod nazwą promieniotwórcze skażenie terenu, dlatego też wpływ innych czynników rażenia wybuchu jądrowego na człowieka będzie tylko zasygnalizowany. Trzeba jednak dodać, że rażące właściwości skażeń promieniotwórczych są bardzo podobne do analogicznych właściwości promieniowania przenikliwego. W obu przypadkach bowiem zagrożeniem dla zdrowia i życia ludzi jest promieniowanie jądrowe, choć czas i sposób oddziaływania jest diametralnie różny.

Ustalono, iż efekty oddziaływania promieniowania jądrowego zależą przede wszystkim od ilości energii pochłoniętej przez organizm. Stąd, najważniejszym pojęciem w ochronie radiologicznej jest dawka promieniowania, a w zasadzie dawka pochłonięta promieniowania. Obecnie⁵⁶ jest ona definiowana jako ilość energii pochłoniętej w masie napromienionego ciała, a jej jednostką jest Grej [1 Gy = 1 J/1 kg] i jego pochodne.

Pochłanianie energii promieniowania jonizującego może mieć bardzo poważne następstwa, które występują wskutek jonizacji ośrodka lub wzbudzenia atomów. Promieniowanie przechodząc przez materiał absorbujący traci część swej energii poprzez oddziaływania z atomami i molekułami wzdłuż toru cząstki (fotonu). Każde zwiększenie liczby interakcji prowadzi natychmiast do wzrostu ilości energii przyjętej w ośrodku absorpcyjnym. Zjawisko określające średnią energię, lokalnie przekazaną przez promieniowanie, na jednostkę długości

56 W przeszłości popularną jednostką dawki pochłoniętej był rad, równy energii 0,01 J pochłoniętej w masie 1 kg danego ciała.

przebytej w absorbującym nośniku nosi nazwę *liniowego przekazywania energii promieniowania* (LET).

Promieniowanie o niskim LET ma słabe właściwości jonizujące i z tego względu, podczas jego przemieszczania dominuje zjawisko wzbudzenia atomów ośrodka. Niska zdolność jonizacji powoduje też stosunkową łatwość przenikania różnych materiałów, dzięki czemu zewnętrzne zagrożenie promieniowaniem jest bardzo duże. Promieniowanie o wysokim LET działa inaczej, gdyż ma dużą zdolność jonizacji, a przy tym bardzo mały zasięg. To z kolei powoduje, że nie potrafi przenikać przez materiały i stanowi zagrożenie tylko po wewnętrznym napromienieniu.

Ponieważ każdy rodzaj promieniowania ma niepowtarzalny LET, bezpośrednio ich porównanie nie jest możliwe. Przykładowo pochłonięcie określonej ilości energii spowodowane przez promieniowania alfa daje zupełnie inny efekt biologiczny niż w przypadku pochłonięcia takiej samej ilości energii, ale pochodzącej od promieniowania gamma. Dlatego też do jednoznacznego określenia skutków biologicznych z uwzględnieniem rodzaju promieniowania trzeba zastosować tzw. *współczynnik wagowy promieniowania*⁵⁷. Znajomość współczynnika wagowego W_R pozwala wyliczyć dawkę promieniowania, która została pochłonięta od określonego rodzaju promieniowania w danej tkance lub narządzie. Dawka ta nosi nazwę dawki równoważnej (*equivalent dose*)⁵⁸.

Wszystkie zjawiska związane z pochłanianiem dawek promieniowania są przyczyną procesów, które prowadzą do powstawania uszkodzeń popromiennych, których skala, różnorodność oraz charakter zależy od pochłoniętej dawki, rodzaju promieniowania, sposobu napromienienia (jednorazowe, wielokrotne), rodzaju napromienionej tkanki (organu) oraz ogólnej wrażliwości organizmu.

Badania nad skutkami promieniowania prowadzone są nieprzerwanie od kilkudziesięciu lat, a mimo to przyczyna radiowrażliwości organizmów ludzkich nie jest do końca znana. We współczesnym piśmiennictwie wyróżnia się zwykle dwa sposoby oddziaływania promieniowania na organizmy żywe – bezpośredni i pośredni. Pierwszy z nich polega na jonizacji lub wzbudzeniu atomów w tkankach żywych organizmów. Powstałe w ten sposób jony i wzbudzone atomy charakteryzują się dużą aktywnością chemiczną, co w prosty sposób prowadzi do licznych, często niepożądanych reakcji chemicznych z innymi cząsteczkami, a w efekcie do powstania niekorzystnych zmian w wiązaniach skomplikowanych cząstek białko-

57 Przykładowo współczynnik wagowy promieniowania dla promieniowania gamma i beta wynosi 1, natomiast dla cząstek ciężkich, np.: cząstek alfa, fragmentów rozszczepienia, a także niektórych neutronów nawet 20.

58 *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Annals of the ICRP, Publication 103, ELSEVIER, 2007, s. 23.

wych lub w enzymach. Drugi sposób oddziaływania – pośredni – polega na wytworzeniu w napromienionym obiekcie znacznych ilości niepożądanych związków chemicznych, głównie wolnych rodników i jonów, które mogą doprowadzić do poważnych zaburzeń metabolizmu oraz nieprawidłowego działania komórek i tkanek.

Przedstawione wyżej sposoby oddziaływania promieniowania na organizm różnią się w sposób zasadniczy, mimo to można się pokusić o nieco inne, bardziej praktyczne spojrzenie, którego ideą nie jest sposób oddziaływania, lecz jego efekt. Tym samym można przyjąć, że dowolne oddziaływanie promieniowania na komórkę może zakończyć na cztery sposoby. Po pierwsze, może nastąpić śmierć komórki, po drugie komórka przeżyje, ale utraci zdolność do reprodukcji, co w efekcie zaważy na późniejszym funkcjonowaniu organizmu. Może też dojść do powstania genetycznych zmian w łańcuchu DNA i w rezultacie do wytworzenia komórek nowotworowych, które mogą być szkodliwe lub nie. Ostatnim efektem promieniowania na komórkę może być brak jakiegokolwiek efektu i dalsze niezakłócone jej funkcjonowanie.

Rozwój procesów patologicznych powstających w organizmach żywych po pochłonięciu określonych dawek promieniowania nosi nazwę biologicznych skutków napromienienia. Według Z. Bałtrukiewicza można je podzielić na następujące rodzaje skutków:

- somatyczne (wczesne);
- somatyczno-stochastyczne (odległe lub późne);
- genetyczne (dziedziczne)⁵⁹.

Wśród somatycznych skutków napromienienia wymienia się ostrą chorobę popromienną, ostre miejscowe uszkodzenia popromienne oraz przewlekłe zespoły popromienne.

Przyjmuje się, że człowiek może znieść bez żadnych negatywnych następstw dawkę promieniowania wynoszącą 50 cGy pochłoniętą jednorazowo, w krótkim okresie. Wynika to z faktu, iż komórki i tkanki organizmu zdolne są do samoregeneracji, pod warunkiem, że ich uszkodzenie nie było zbyt ciężkie.

Przy napromienieniu ciała ludzkiego dawkami w zakresie 50–100 cGy mogą wystąpić pierwsze oznaki choroby popromiennej ze sporadycznymi przypadkami utraty zdolności do pracy. Pochłonięcie dawek powyżej 100 cGy wywołuje zespół objawów określany, jako ostra choroba popromienna⁶⁰. W zależności od pochło-

59 Z. Bałtrukiewicz, *Wybrane zagadnienia sanitarno-medyczne...*, wyd. cyt., s. 82.

60 Choroba popromienna definiowana jest, jako jednostka chorobowa związana z czynnikiem fizycznym, wywołującym nieswoiste uszkodzenia w różnych tkankach, narządach i układach, jako wynik różnorodnych procesów, zapoczątkowanych przez promieniowanie jonizujące, Z. Bałtrukiewicz, wyd. cyt., s. 83–84.

niętej dawki promieniowania przy krótkotrwałym napromienieniu rozróżniamy cztery stopnie tej choroby: lekki, średni, ciężki i bardzo ciężki⁶¹.

Choroba popromienna lekkiego stopnia pojawia się po jednorazowym i krótkotrwałym napromienieniu ciała dawkami w zakresie 100–200 cGy. Charakteryzuje się osłabieniem organizmu, mdłościami, wzmożonym poceniem, suchością w ustach, a także zauważalnym obniżeniem liczby białych krwinek. Choroba w tym stadium prawie zawsze kończy się wyzdrowieniem i nie wymaga udziału lekarza. Trzeba jednak pamiętać, że w sytuacji, gdy mamy do czynienia z osobami chorymi, rannymi czy poparzonymi może dojść do poważnych powikłań, często zakończonych śmiercią. Taka sytuacja ma zwykle miejsce w powybuchowych uszkodzeniach mieszanych, w trakcie których występuje „zespół wzajemnego pogarszania”⁶².

Choroba popromienna średniego stopnia rozwija się po jednorazowym napromienieniu ciała dawkami w zakresie 200–400 cGy. Charakteryzuje się dużym osłabieniem, zaburzeniami układu nerwowego, dużym spadkiem liczby białych krwinek, bólami głowy, rozstrojem układu pokarmowego (nudności, biegunka, wymioty), podwyższeniem temperatury ciała, a w późniejszym okresie wewnętrznymi wylewami krwi i wypadaniem włosów. W większości przypadków wyzdrowienie następuje w ciągu kilku miesięcy. Jednak jeżeli wystąpią powikłania w czasie choroby może dojść do zgonów.

Choroba popromienna ciężkiego stopnia pojawia się po jednorazowym napromienieniu ciała dawkami w zakresie 400–600 cGy. Charakteryzuje się analogicznym przebiegiem jak w przypadku choroby średniego stopnia, lecz występuje w ostrzejszej formie, zazwyczaj połączonej z powikłaniami. Szczególnie charakterystyczne są owrzodzenia całego przewodu pokarmowego oraz silna gorączka, która utrzymuje się do śmierci.

Zmniejszenie liczby białych krwinek (leukocytów) powoduje gwałtowny spadek odporności ustroju prowadzący do licznych zakażeń, z kolei brak krwinek czerwonych (erytrocytów) znacznie degraduje dostawę tlenu do poszczególnych tkanek. Równie szkodliwe może być zmniejszenie liczby płytek krwi (trombocytów), które prowadzi do zaburzeń w krzepnięciu krwi, a w rezultacie do powstawania krwawień⁶³.

61 W dostępnym piśmiennictwie istnieje jeszcze wiele innych podziałów.

62 J. Derecki, *Skutki somatyczne ostrego napromienienia zewnętrznego i ocena możliwych strat ludności* [w:] *Zagrożenie radiacyjne ludności w czasie wojny jądrowej*, część I, Raport nr CLOR-90/I/D, Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej, Warszawa 1971, s. 133–134.

63 Zob. A. Iwanow, G. Rybkin, *Działanie rażące wybuchu jądrowego*, wyd. cyt., s. 235.

Przy dawkach bliskich górnej granicy następuje ciężkie wyniszczenie organizmu i obłąd. W większości przypadków choroba kończy się śmiercią w ciągu 2–8 tygodni po napromienieniu.

Choroba popromienna bardzo ciężkiego stopnia objawia się po napromienieniu całego ciała dawkami powyżej 600 cGy. Przebiega podobnie jak choroba drugiego i trzeciego stopnia. W przypadku pochłonięcia dawki powyżej 1000 cGy, pojawiają się: zaburzenia oddychania, nadpobudliwość, brak koordynacji i inne objawy. Śmierć następuje w ciągu kilku–kilkunastu dni.

Określając stopień porażenia niezwykle istotne jest ustalenie, czy napromienieniu uległo całe ciało, czy tylko jego część, przy czym gorsze dla organizmu jest napromienienie całego ciała. Jednak nawet, gdy dojdzie do napromienienia tylko pojedynczych organów może się okazać, że skutki będą poważne. Taka sytuacja może wystąpić, gdy promieniowanie dosięgnie najbardziej wrażliwe tkanki i narządy, takie jak: szpik kostny i pozostała część układu krwiotwórczego oraz narządy rozrodcze i oczy. Nie bez znaczenia jest także ogólny stan fizyczny człowieka, a także jego wiek, płeć i poziom jego naturalnej odporności.

Oprócz ostrej choroby popromiennej mogą wystąpić także inne skutki somatyczne. Przykładowo w wyniku wybiórczego działania promieniowania jonizującego na oddzielne części ciała ludzkiego może dochodzić do rozwoju *miejscowych zmian popromiennych*. Szczególne znaczenie może mieć popromienne uszkodzenie skóry, które przybiera postać ognisk rumieniowych, pęcherzy lub owrzodzeń, zwłaszcza po tzw. beta – kontaktowym oparzeniu skóry, które następuje po bezpośrednim kontakcie pyłu promieniotwórczego z ciałem człowieka.

W warunkach długotrwałego narażenia organizmu na promieniowanie jonizujące, przy ekspozycjach na dawki o małej mocy, a także podczas skażeń promieniotwórczych mogą rozwijać się uszkodzenia, które dopiero po latach objawiają się, jako *przewlekły zespół popromienny*.

Do somatyczno-stochastycznych skutków napromienienia zalicza się: *skrócenie czasu życia, białaczka i inne nowotwory oraz zmiany zwyrodniające*. Aktualnie istnieje wiele teorii na ten temat, jednak żadna nie jest w pełni rozpoznana i pewnie długo jeszcze nie będzie.

Ostatni rodzaj skutków napromienienia to skutki genetyczne. Zazwyczaj objawiają się w postaci *mutacji genowych* oraz *aberracji chromosomów*, które zachodzą pod wpływem promieniowania w gametach żeńskich i męskich prowadząc do wystąpienia zmian cech dziedzicznych. Mogą to być zmiany o różnym charakterze – począwszy od lekkich i nieszkodliwych (np. zmiany zabarwienia skóry i włosów), poprzez różnego rodzaju wady wrodzone (wady układu mięśniowego, nerwowego itp.) i zaburzenia psychiczne, aż do ciężkich wad metabolicznych i zmian ogólnoustrojowych, powodujących niezdolność do życia.

Podsumowując rozważania dotyczące oddziaływania promieniowania na organizmy żywe warto dodać, że w ocenie skutków rozróżnia się dawki ostre i chroniczne. Dawka ostra rozumiana jest, jako dawka lub szereg dawek otrzymanych w krótkim czasie (do 4 dni), natomiast dawka chroniczna jest otrzymywana w dłuższym okresie czasu i to ze znacznie mniejszą intensywnością. Szczególne znaczenie ma przy tym dawka „subletalna”, która zwyczajowo wynosi około 200 cGy. Jednak tak określony próg wcale nie oznacza, że śmierć organizmu jest niemożliwa, a jedynie, że mało prawdopodobna. W efekcie tylko organizmy bardzo słabe lub chore będą wymagały hospitalizacji. Dla porównania wielkość dawki śmiertelnej LD_{50} określono na 3–4 Sv, czyli prawie dwa razy więcej.

1.3. Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania

1.3.1. Geneza systemu

Zagrożenia stwarzane przez obecność substancji niebezpiecznych są nieodrodnym elementem naszej rzeczywistości, które w mniejszym lub większym stopniu wpływają na bezpieczeństwo oraz nasz komfort funkcjonowania. Niezależnie od naszych intencji, pochodzenia, rodzaju wykonywanej pracy czy miejsca przebywania każdy człowiek funkcjonuje w ściśle określonym „układzie bezpieczeństwa”, w którym poszczególne zagrożenia odgrywają jakąś, mniej lub bardziej określoną rolę. Jest przy tym oczywiste, że zakres i skala tych oddziaływań może być bardzo różna, od bardzo niebezpiecznych do tych prawie nieistotnych.

Wyraźne ustalenie linii rozdzielającej niski i wysoki stopień zagrożenia może być jednak sporym problemem. Spowodowane to jest dużą różnorodnością stopnia uprzemysłowienia poszczególnych państw świata, a także wyraźnie widoczną specyfiką ich zaludnienia. Taka sytuacja wynika także z ogromnego zróżnicowania współczesnych zagrożeń, a ponadto ze znacznego rozrzucenia potencjalnie niebezpiecznych obiektów i instalacji w poszczególnych rejonach świata, które w pewnych warunkach mogą stać się źródłem poważnych zagrożeń.

Z przytoczonych wyżej powodów jednoznaczna ocena zagrożenia we wszystkich aspektach naszej działalności nie jest możliwa. Czy to jednak oznacza, że jesteśmy wobec tego całkiem bezradni? Z pewnością nie. Dysponujemy bowiem szeregiem całkiem przydatnych narzędzi i procedur, których zastosowanie pozwala nam nie tylko na wykrywanie zagrożeń, ale także na zapobieganie ich wystąpieniu i przeciwdziałanie ewentualnym skutkom, gdy takie się pojawią. Tak jest obecnie, ale czy zawsze tak bywało? Okazuje się, że nie całkiem, gdyż większość organów odpowiedzialnych za sprawy zagrożeń koncentrowała się na ściśle określonej problematyce, zgodnej z profilem ich działalności, ale bez żadnej koor-

dynacji z innymi służbami bądź organami, które miały podobne zadania. W efekcie informacja o zagrożeniach była gromadzona, była nawet przekazywana (po liniach służbowych), jednak różna podległość oraz niejednakowe standardy zdobywania i przekazu informacji nie pozwalały na efektywną współpracę. Potrzebne były zmiany, które w prosty, a zarazem skuteczny sposób unormują rozumienie wszystkich aspektów zagrożeń będących wynikiem wykorzystania substancji niebezpiecznych. Aby tego dokonać potrzebne było jednolite rozumienie poszczególnych pojęć poprzez stworzenie ich odpowiednich definicji.

Szczególnie istotne było zdefiniowanie takich pojęć jak: alarm, alarmowanie, ostrzeżenie, powiadamianie, substancje niebezpieczne, skażenie, analiza skażeń, prognozowanie oraz rozpoznanie i wykrywanie skażeń. Większość z nich znajdziemy w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 7 stycznia 2013 roku⁶⁴, jednak niektórych terminów trzeba szukać gdzie indziej. Wśród nich szczególnie ważny wydaje się termin „*substancje niebezpieczne*”. Występuje on w wielu ustawach i rozporządzeniach, jednak jego definicję odnajdziemy w ustawie *Prawo ochrony środowiska*. Zgodnie z nią substancja niebezpieczna to – *jedna lub więcej substancji albo mieszaniny substancji, które ze względu na swoje właściwości chemiczne, biologiczne lub promieniotwórcze mogą, w razie nieprawidłowego obchodzenia się z nimi, spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi lub środowiska*⁶⁵.

Typologię substancji niebezpiecznych oraz szczegółowe wytyczne w tym zakresie znajdziemy w wielu aktach prawnych, zarówno polskich, jak i międzynarodowych. Odnosząc się do rozwiązań krajowych warto wspomnieć choćby o dwóch ustawach, tj. *o substancjach chemicznych i mieszaninach*⁶⁶ oraz *o przewozie towarów niebezpiecznych*⁶⁷. W pierwszej, wymienionej ustawie znajdziemy definicje substancji i mieszaniny, które pochodzą bezpośrednio z rozporządzenia (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady, a ponadto ogólną klasyfikację substancji niebezpiecznych i mieszanin⁶⁸. Druga ustawa – o przewozie

64 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 stycznia 2013 r. w sprawie systemów wykrywania skażeń i powiadamiania o ich wystąpieniu oraz właściwości organów w tych sprawach, (Dz.U. 2013, poz. 96).

65 Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* (Dz.U. 2008 Nr 25, poz. 150), art 3, pkt 37.

66 Ustawa z dnia 25 lutego 2011 r. *o substancjach chemicznych i ich mieszaninach* (Dz.U. 2011 Nr 227, poz. 1367).

67 Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. *o przewozie towarów niebezpiecznych* (Dz.U. 2011 Nr 63, poz. 322).

68 Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów.

towarów niebezpiecznych – bazuje na postanowieniach stosownych regulaminów i umów międzynarodowych⁶⁹. Znajdziemy w niej definicję towaru niebezpiecznego, za który uznano – *materiał lub przedmiot, który zgodnie z ADR, RID lub ADN nie jest dopuszczony, odpowiednio, do przewozu drogowego, przewozu koleją lub przewozu żeglugą śródlądową albo jest dopuszczony do takiego przewozu na warunkach określonych w tych przepisach*⁷⁰. Zgodnie z powyższą definicją poszczególne dokumenty wyróżniają dziewięć klas materiałów niebezpiecznych. Interesujące nas materiały promieniotwórcze znalazły się w klasie siódmej.

Wielość oraz zróżnicowanie zagrożeń pochodzących od substancji niebezpiecznych zawsze stwarza pewne trudności w zakresie ich rozpoznania, jednak rzeczywiste problemy pojawiają się dopiero wtedy, gdy zachodzi potrzeba ostrzeżenia zagrożonej ludności, powiadamiania odpowiednich służb i organów, a także koordynacji działań zapobiegawczych. Aby ich uniknąć lub choćby ograniczyć utworzono Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania⁷¹.

W ustawie ustalono, że w skład systemu wejdą *systemy wykrywania skażeń i alarmowania o skażeniach oraz organy i jednostki organizacyjne, które dokonują analizy skażeń i oceny sytuacji oraz opracowują, ogłaszają i wprowadzają działania interwencyjne*.

Systemy wykrywania skażeń obejmują: *System Wykrywania Skażeń Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej, sieci i systemy nadzoru epidemiologicznego i kontroli chorób zakaźnych w kraju oraz krajowe punkty kontaktowe, system stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych, nadzorowane przez wojewodów wojewódzkie systemy wykrywania i alarmowania oraz wojewódzkie systemy wczesnego ostrzeżenia o zagrożeniach, systemy nadzoru epizootycznego, fitosanitarnego, nadzoru nad bezpieczeństwem produktów pochodzenia zwierzęcego i paszami oraz nadzoru nad produktami rolno-spożywczymi nadzorowane przez ministrów właściwych do spraw rolnictwa i rynków rolnych oraz zdrowia*.

Z kolei do organów dokonujących analizy skażeń i oceny sytuacji zaliczamy: *organy i jednostki organizacyjne prowadzące działania interwencyjne w sytuacji*

69 ADR – *Umowę europejską dotyczącą międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzoną w Genewie dnia 30 września 1957 r.* (Dz.U. z 2011 r. Nr 110, poz. 641), RID – *Regulamin dla międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID), stanowiący załącznik C do Konwencji o międzynarodowym przewozie kolejami (COTIF), sporządzonej w Bernie dnia 9 maja 1980 r.* (Dz.U. z 2007 r. Nr 100, poz. 674 i 675, z 2009 r. Nr 167, poz. 1318 oraz z 2011 r. Nr 137, poz. 804 i 805), ADN – *Umowę europejską dotyczącą międzynarodowego przewozu śródlądowymi drogami wodnymi towarów niebezpiecznych (ADN), zawartą w Genewie w dniu 26 maja 2000 r.* (Dz.U. z 2010 r. Nr 235, poz. 1537).

70 Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. *o przewozie towarów niebezpiecznych*, wyd. cyt, art. 2, pkt 1, ust. 4.

71 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 stycznia 2013 r. ... (Dz.U. 2013, poz. 96), wyd. cyt.

wystąpienia skażeń – nadzorowane przez Ministra Obrony Narodowej, ministrów właściwych do spraw wewnętrznych, zdrowia, środowiska i rolnictwa lub im podległe oraz nadzorowane przez wojewodów, formacje obrony cywilnej wykonujące działania w zakresie monitoringu, wykrywania i rozpoznania skażeń oraz alarmowania o skażeniach, dyrektorów urzędów morskich w zakresie swoich kompetencji oraz inne organy i jednostki organizacyjne wykonujące obserwacje skażeń i ich pomiary i powiadamiające o skażeniach na terenie kraju, włączone do systemów, na podstawie stosownych umów i porozumień.

Aby idea utworzenia systemu miała sens konieczne było zapewnienie wzajemnej interoperacyjności oraz jednolitości funkcjonowania. Chodziło też o to, aby odpowiednie służby⁷² nie dublowały swoich zadań, a wręcz przeciwnie wzajemnie się uzupełniały. W przeszłości bywało bowiem, że poszczególne ogniwa działały w sposób autonomiczny, ale wyłącznie w obrębie własnej podległości organizacyjnej. Przynależność do odmiennych resortów, powodowała, że informacja, która trafiała do końcowych decydentów pochodziła z wielu różnych źródeł, które nie były ze sobą skoordynowane, a dodatkowo posługiwały się odmiennymi standardami⁷³. W efekcie w otrzymywanych informacjach pojawiały się liczne rozbieżności, wynikające z odmiennych procedur zbierania danych, przekazywania meldunków oraz oceny sytuacji. Taki stan rzeczy był niedopuszczalny, dlatego przyjęty został jednolity standard, który sprowadzał się do:

- takich samych metodyk i procedur obserwacji i pomiarów skażeń;
- takich samych formatów meldunków i informacji o skażeniach;
- identycznych procedur przekazywania meldunków o skażeniach;
- jednolitego schematu obiegu i wymiany informacji o skażeniach.

1.3.2. Obieg informacji o skażeniach

Idea Systemu Wykrywania Skażeń i Alarmowania zakłada synergiczne oddziaływanie wszystkich jego elementów w takich sytuacjach, w których istnieje zagrożenie skażeniami i to niezależnie od ich typu. W ten sposób wszystkie zagrożenia – chemiczne, biologiczne, jądrowe i radiologiczne są analizowane na bieżąco, a w przypadku pojawienia się problemów, korzysta się z odpowiednich procedur, które powinny doprowadzić do likwidacji danego zagrożenia.

72 Chodzi o służby przeznaczone do wykrywania zagrożeń, ostrzegania i alarmowania, służby ratownicze, ogniwa analityczne wykonujące prognozy skażeń oraz komórki wskazujące rodzaj i zakres niezbędnych działań interwencyjnych i zabezpieczających.

73 Zob. T. Biniek, J. Czepiel, *Funkcjonowanie Krajowego Systemu Wykrywania Skażeń i Alarmowania w obecnych uwarunkowaniach systemowych w Polsce*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” t. 36, wyd. 4, s. 20.

Obowiązującym standardem obserwacji i pomiarów skażeń są procedury ATP-45⁷⁴, które obejmuje także zasady prognozowania skażeń, formatowania meldunków oraz obiegu informacji o skażeniach. Ustalenia te są wykorzystywane nie tylko w Siłach Zbrojnych RP⁷⁵, ale także w strukturach obrony cywilnej i zarządzania kryzysowego. Procedury ATP-45 przede wszystkim odnoszą się do zagrożeń generowanych przez wszystkie rodzaje broni masowego rażenia, jednak zagrożenia powodowane przez toksyczne środki przemysłowe też są uwzględnione. Ze względu na ograniczenia narzucone na wstępie książki, w dalszych rozważaniach uwzględnione zostaną wyłącznie informacje o skażeniach promieniotwórczych. Te, jak wiadomo, mogą być pochodną użycia broni jądrowej, broni radiologicznej lub pojawienia się innych zagrożeń, w tak zwanych zdarzeniach radiacyjnych. O ile kwestie użycia broni jądrowej są doskonale znane, o tyle charakter pozostałych zdarzeń nie jest do końca jasny.

Pierwszy problem pojawia się, zaraz potem, jak spróbujemy zdefiniować pojęcie broni radiologicznej. Z powszechnej definicji wynika, że jest to środek walki, w którym czynnikiem rażącym jest rozproszony materiał promieniotwórczy. Zakłada się przy tym, że mogą to być materiały promieniotwórcze uzyskane zarówno z wojskowych, jak i cywilnych programów jądrowych, a ponadto z wszelkich zakładów przemysłowych, obiektów medycznych oraz naukowych, w których wykorzystywane są źródła promieniotwórcze. Gdzie więc tkwi problem? Okazuje się, że wykorzystanie owej „broni” nie polega na wykorzystaniu energii eksplozji (o ile taka w ogóle nastąpi), a jedynie na rozproszeniu materiału promieniotwórczego, który dopiero w dalszej kolejności może stanowić pewne zagrożenie.

Dodatkowo trzeba pamiętać, że w odróżnieniu od broni jądrowej, podczas wybuchu broni radiologicznej nie dochodzi do reakcji rozszczepienia lub syntezy jąder atomowych, a cała uwalniana energia jest pochodną eksplozji konwencjonalnych ładunków wybuchowych, które służą wyłącznie do rozrzucaenia materiału promieniotwórczego na danym obszarze. Oprócz użycia materiałów wybuchowych rozważa się też rozpylanie materiałów promieniotwórczych za pomocą wentylatorów, generatorów aerozoli czy innych urządzeń o niewybuchowym charakterze.

Kolejna wątpliwość wynika z zastosowania broni radiologicznej. Okazuje się, że w odróżnieniu od pozostałych środków masowego rażenia żadne państwo, oficjalnie takiej broni nie posiada, nic także nie wiadomo, aby posiadały ją jakiegokolwiek grupy terrorystyczne, sekty czy organizacje. Teoretycznie więc można uznać, że taka broń w ogóle nie istnieje, podobnie jak zagrożenie z jej strony. Niestety

74 ATP-45(D) *Warning and reporting and hazard prediction of chemical, biological, radiological and nuclear incidents*, Stanag 2103, NSA, Brussels 2010.

75 ATP-45 jest stosowane jest w siłach zbrojnych wszystkich państw NATO.

wielość oraz powszechność zastosowania materiałów promieniotwórczych skłania do wniosku, że w każdej chwili sytuacja może ulec zmianie, szczególnie, gdy pod uwagę weźmiemy możliwość ich wykorzystania do celów terrorystycznych. Łatwo bowiem zauważyć, że promieniotwórcze skażenie terenu, powstające po użyciu broni radiologicznej będzie bardzo przydatnym środkiem, który umożliwi terrorystom osiągnięcie celu zasadniczego, jakim jest wywołanie masowej paniki, chaosu oraz hysterii.

Broń radiologiczna może być stosowana w różnej postaci, jednak do skutecznych zastosowań nadaje się zaledwie kilka–kilkanaście substancji. Według Ch.D. Ferguson podstawa terrorystycznej przydatności substancji promieniotwórczych są: *powszechność użycia, czas połowicznego rozpadu, odpowiednia wartość radioaktywna, łatwość przenoszenia oraz duża dyspersyjność*⁷⁶, a takie cechy posiada tylko niewiele substancji.

Nieco innym, choć podobnym problemem są tzw. zdarzenia radiacyjne, które zgodnie z prawem atomowym oznaczają *sytuacje związane z zagrożeniem, wymagające podjęcia pilnych działań w celu ochrony pracowników lub ludności*⁷⁷. Powyższa definicja w żaden sposób nie wyjaśnia istoty zdarzeń radiacyjnych, gdyż może dotyczyć bardzo różnych zagrożeń, niekoniecznie związanych z promieniowaniem. W Polsce zadania związane z zapewnieniem bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej kraju leżą w kompetencjach Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (PAA). Według PAA zdarzeniem radiacyjnym określa się *wydarzenie na terenie kraju lub poza jego granicami, związane z materiałem jądrowym, źródłem promieniowania jonizującego, odpadem promieniotwórczym lub innymi substancjami promieniotwórczymi, powodujące lub mogące powodować zagrożenie radiacyjne, stwarzające możliwość przekroczenia wartości granicznych dawek promieniowania jonizującego określonych w obowiązujących przepisach, a więc wymagające podjęcia pilnych działań w celu ochrony pracowników lub ludności*⁷⁸.

W przedstawionej interpretacji znajduje się odniesienie do granicznych dawek promieniowania jonizującego, których przekroczenie będzie decydować o zaliczeniu takich zdarzeń do kategorii zdarzeń radiacyjnych. Dawki te zostały ustalone dla dwóch kategorii ludności, tj. dla pracowników oraz dla osób z ogółu ludności⁷⁹. Zgodnie z zapisami rozporządzenia dla pracowników dawka graniczna, wyrażona jako dawka skuteczna wynosi 20 mSv w ciągu roku kalendarzowego, a dla osób z ogółu ludności 1 mSv.

76 Por. Ch.D. Ferguson, W.C. Potter i inni, *The Four Faces of Nuclear Terrorism*, Monterey Institute – Center for Nonproliferation Studies, Monterey 2004, s. 264.

77 Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. *Prawo atomowe* (Dz.U. 2001 Nr 3, poz. 18) art. 3 ust. 55.

78 Strona internetowa PAA – www.paa.gov.pl, stan na dzień 19.01.2016 r.

79 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. *w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego* (Dz.U. Nr 20, poz. 168).

Ustalone wielkości dawek są zgodne z zaleceniami Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP), według których każda, nawet najmniejsza dawka może być szkodliwa⁸⁰. Takie podejście znane, jako hipoteza liniowa ma na celu maksymalne ograniczenie wszelkich kontaktów ze źródłami promieniowania jonizującego. Okazuje się jednak, że nie zawsze jest ono uzasadnione, gdyż zwolennicy teorii hormezy radiacyjnej twierdzą, że małe dawki promieniowania nie tylko nie są szkodliwe, ale mają dobroczynny wpływ na nasze zdrowie⁸¹. Na poparcie swojej tezy przytaczają wartości naturalnego tła promieniowania występującego w różnych krajach, które wielokrotnie przewyższają dawki graniczne, a ludzie tam mieszkający żyją bez żadnych problemów od promieniowania⁸².

Ostatecznie, wszelkie informacje związane ze skażeniami promieniotwórczymi, niezależnie od ich źródła i rodzaju, są zbierane, przetwarzane i przekazywane zgodnie z ustalonym obiegiem informacji Krajowego Systemu Wykrywania Skażeń i Alarmowania. Jego schemat przedstawiono na rysunku 3.

Z informacji przedstawionych na rysunku wynika, że zasadniczą rolę w zdobywaniu, przetwarzaniu i przesyłaniu informacji o skażeniach odgrywają elementy Państwowej Agencji Atomistyki, takie jak: Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych „CEZAR” oraz stacje wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówki prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych. Do bieżącej oceny sytuacji radiacyjnej kraju przeznaczone są stacje wczesnego wykrywania skażeń, natomiast rola placówek ogranicza się do analizy skażeń promieniotwórczych w próbkach wody, gleby, powietrza oraz w paszach i żywności⁸³. Dodatkowo stacje wczesnego wykrywania służą również do wykrywania i identyfikacji wszelkich zagrożeń noszących znamiona zdarzeń radiacyjnych. Szczegółowe zasady działania po wystąpieniu takich zdarzeń znajdziemy w stosownych rozporządzeniach Rady Ministrów⁸⁴.

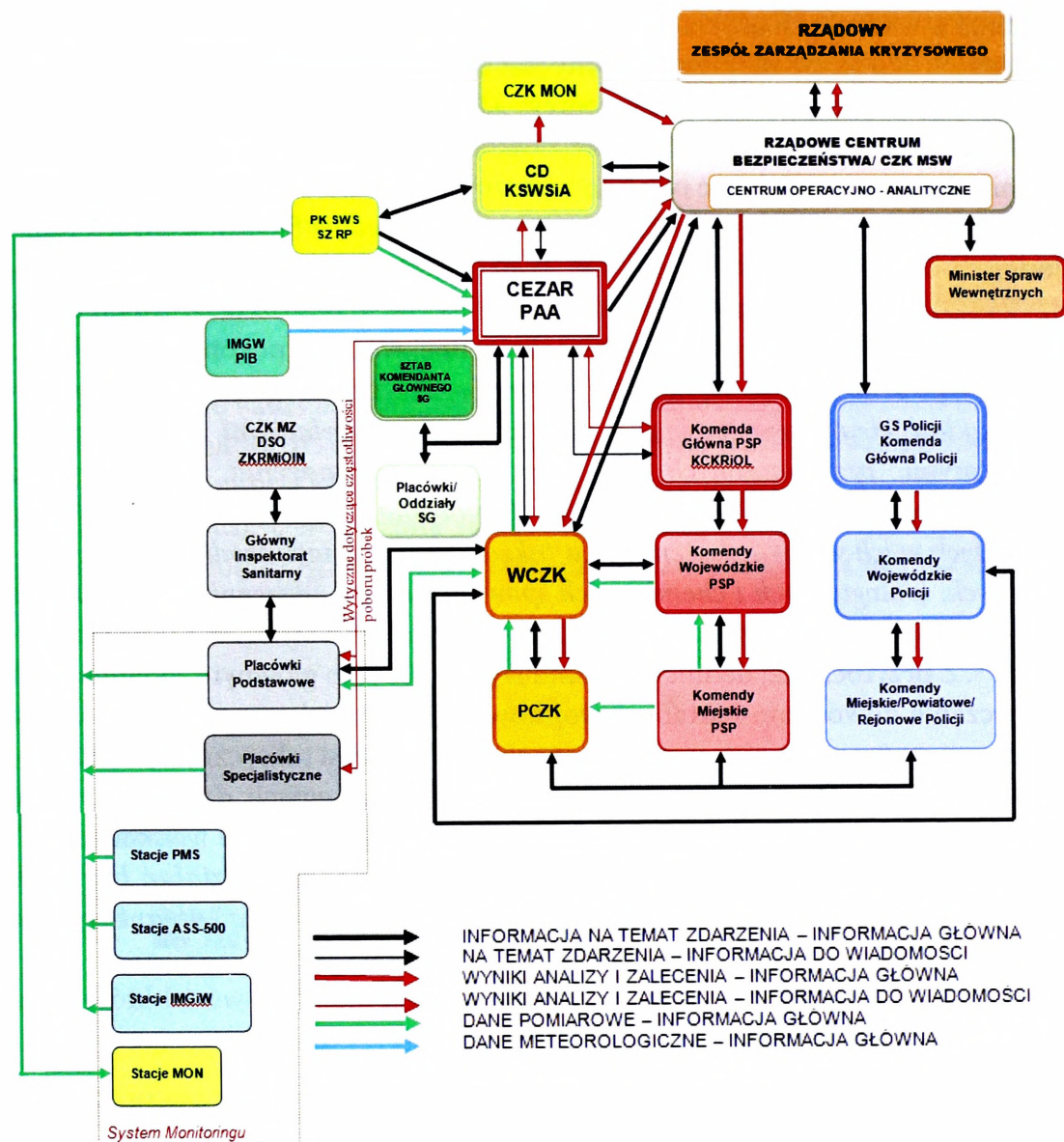
80 ICRP – *International Commission on Radiological Protection*.

81 Gorącym orędownikiem tej teorii był profesor Zbigniew Jaworowski – zob. Z. Jaworowski, *Dobroczynne promieniowanie*, „Wiedza i Życie” nr 3, 1997.

82 W Polsce tło promieniowania waha się w granicach 3,5 mSv (z czego 2,8 pochodzi od naturalnych źródeł promieniowania), natomiast w wielu miejscach na świecie tło promieniowania jest znacznie większe, dochodząc nawet do kilkuset mSv (na przykład w Ramsar w Iranie).

83 Szczegółowe zadania stacji i placówek reguluje rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych (Dz.U. 2002 Nr 239, poz. 2030).

84 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie planów postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych (Dz.U. Nr 20, poz. 169); Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie informacji wyprzedzającej dla ludności na wypadek zdarzenia radiacyjnego (Dz.U. 2004 Nr 102, poz. 1065); Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. w sprawie określenia podmiotów właściwych w sprawach kontroli po zdarzeniu radiacyjnym żywności i środków żywienia zwierząt na zgodność z maksymalnymi dopuszczalnymi poziomami skażeń promieniotwórczych (Dz.U. 2004 Nr 98, poz. 988).



Źródło: Plan współdziałania jednostek organizacyjnych wchodzących w skład jednolitego Krajowego Systemu Wykrywania Skażeń i Alarmowania, MON, Warszawa 2015.

Rysunek 3. Obieg informacji o skażeniach promieniotwórczych

1.3.3. System Wykrywania Skażeń SZ RP

Przedstawione wcześniej zadania KWSiA dotyczą sytuacji, w których istnieje groźba porażenia ludności, będąca bezpośrednim skutkiem wystąpienia skażeń promieniotwórczych. System ten zorientowany jest jednak na zadania realizowane w czasie pokoju, w tym głównie na zdarzenia radiacyjne lub ewentualnie na próby użycia różnych form broni radiologicznej. Działania wojenne, a zwłaszcza

działania w warunkach użycia broni jądrowej znacznie wykraczają poza możliwości systemu. Do tego celu przeznaczony jest bowiem System Wykrywania Skażeń SZ RP, który *de facto* jest także elementem KSWSiA.

W czasie pokoju system SWS nie funkcjonuje jednak w pełnym wymiarze, ograniczając swą działalność tylko do wybranych zadań i wytypowanych elementów. I właśnie ta część sił i środków Systemu Wykrywania Skażeń w SZ RP, funkcjonująca w Stałej Gotowości Bojowej, tworzy Podsystem Wczesnego Ostrzegania (PWO). Jego zadaniem jest jak najszybsze wykrycie zagrożeń, ich analiza oraz ostrzeżenie zagrożonych wojsk i ludności cywilnej w czasie pokoju⁸⁵.

Zgodnie z instrukcją, System Wykrywania Skażeń SZ RP jest to *zorganizowany układ elementów, powiązanych wzajemnymi relacjami organizacyjno-technicznymi, przeznaczonych do zdobywania, gromadzenia, przetwarzania i analizowania informacji o uderzeniach bronią masowego rażenia (BMR) oraz powstałych w ich wyniku skażeniach, a także o uwolnieniach środków promieniotwórczych, biologicznych i chemicznych spowodowanych zdarzeniami innymi niż uderzenie bronią masowego rażenia (ROTA) i o potencjalnych źródłach tych zagrożeń*⁸⁶. Z przytoczonej definicji systemu wynika, że jego głównym zadaniem jest dostarczanie dowódcom i sztabom wojskowym wszystkich szczebli dowodzenia informacji o użyciu broni masowego rażenia i uwolnieniu toksycznych, bądź promieniotwórczych środków przemysłowych oraz o skażeniach dowolnego typu. Informacje te, są z kolei przydatne do *ostrzegania i alarmowania wojsk własnych i sojuszniczych o uderzeniach BMR i skażeniach; planowania działań bojowych w warunkach użycia BMR i wystąpienia skażeń oraz planowania i organizowania OPBMR w czasie pokoju, kryzysu i wojny*⁸⁷.

Instrukcja wymienia także szczegółowe zadania systemu, wśród których za najważniejsze można przyjąć:

1. wykrywanie uderzeń bronią jądrową, chemiczną i biologiczną oraz uwolnień toksycznych środków przemysłowych (TSP);
2. monitoring skażeń w wyznaczonych obiektach, rejonach i strefach;
3. prognozowanie sytuacji skażeń, powstałych w wyniku uderzeń BMR lub uwolnieniu TSP oraz ocena ich wpływu na działania wojsk;
4. ostrzeżenie i alarmowanie zagrożonych wojsk i ludności cywilnej o skażeniach;
5. wykrywanie skażeń, a także prowadzenie rozpoznania zmierzającego do określenia charakteru i stopnia skażenia oraz określenia granic obszarów niebezpiecznych;

85 Szczegółowa organizacja, cel oraz zadania Podsystemu Wczesnego Ostrzegania znajdują się w *Instrukcji Systemu Wykrywania Skażeń w Siłach Zbrojnych RP*, SG WP, Warszawa 2002.

86 Tamże, paragraf 9.

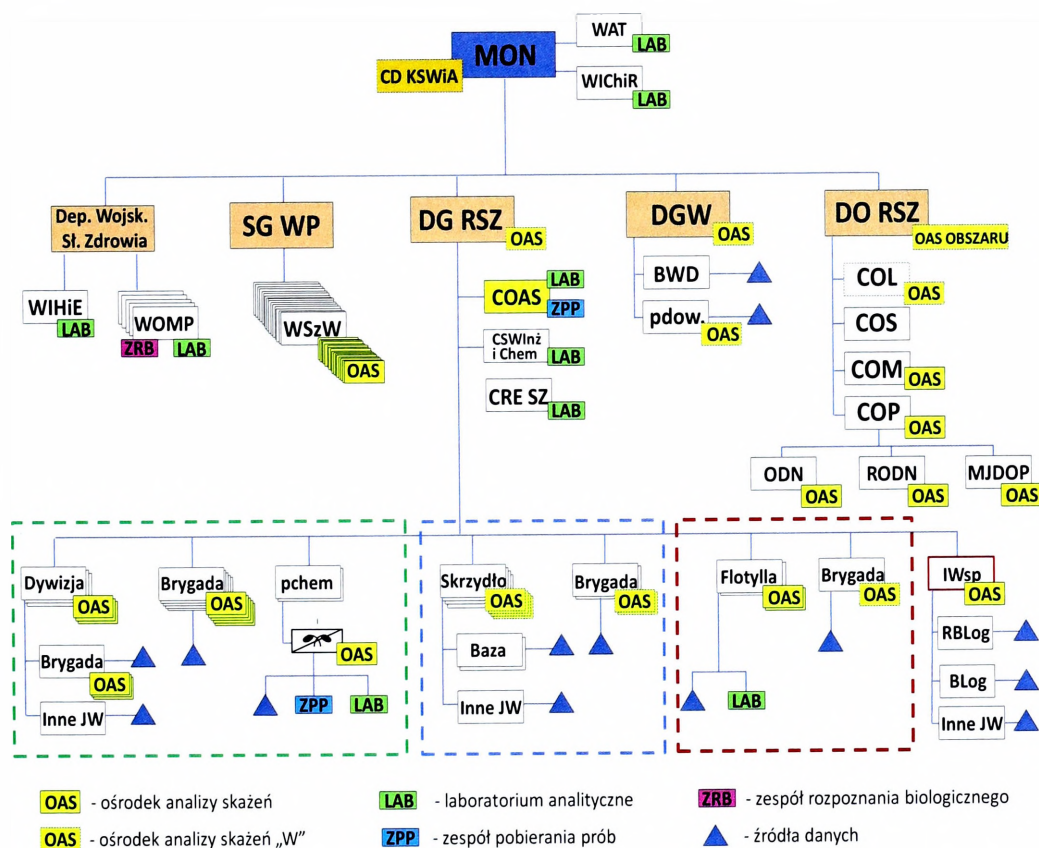
87 Tamże, paragraf 11.

6. określanie warunków atmosferycznych w przyziemnej warstwie powietrza oraz zbieranie i opracowywanie danych o średnich wiatrach w górnych warstwach atmosfery;

7. pobieranie oraz analiza próbek skażonego powietrza, gleby, wody i innych materiałów;

8. wymiana informacji pomiędzy jednostkami wojskowymi, siłami NATO i układem pozamilitarnym o uderzeniach BMR, a także uwolnieniach środków promieniotwórczych, chemicznych i biologicznych spowodowanych zdarzeniami typu ROTA oraz powstałych w ich wyniku skażeniach⁸⁸.

Wymienione zadania realizowane są przez odpowiednie siły i środki, które można przydzielić do trzech kategorii. Są to: jednostki wykrywania zagrożeń (monitoringu); laboratoria analityczne i zespoły pobierania próbek oraz ośrodki analizy skażeń (OAS). Uproszczona struktura systemu, uwzględniająca podległość organizacyjną poszczególnych jednostek, przedstawiona została na rysunku 4.



Źródło: opracowanie własne na podstawie Wytocznych Szefa Zarządu OPBMR – Administratora SWS.

Rysunek 4. Struktura Systemu Wykrywania Skażeń SZ RP

88 Tamże, paragraf 12.

Najniższe, a zarazem najważniejsze ogniwo systemu to jednostki wykrywania zagrożeń, zwane czasem źródłami lub dajnikami informacji. Ich podstawowym zadaniem jest wykrywanie i pomiar parametrów uderzeń bronią masowego rażenia oraz uwolnień toksycznych środków przemysłowych. Do najważniejszych źródeł zaliczamy: obserwatorów, posterunki obserwacyjne, drużyny rozpoznania skażeń, śmigłowce powietrznego rozpoznania skażeń, pododdziały rozpoznania artylerii, sekcje rozpoznania biologicznego wojskowej służby zdrowia, automatyczne punkty pomiarowe skażeń oraz wydzielone pododdziały radiotechniczne i posterunki lotniskowe⁸⁹.

Tak duża różnorodność poszczególnych źródeł powoduje, że ich możliwości bywają bardzo różne. Wszystko zależy od wykonywanych zadań, wyposażenia technicznego, a także podległości służbowej. Szczegółowy zakres zadań określono w „Instrukcji SWS”.

Drugim ogniwem systemu są laboratoria analityczne i zespoły pobierania próbek. Ich zasadniczym zadaniem jest *wykrywanie i identyfikacja skażeń produktów żywnościowych, płodów rolnych, roślinności, paszy, wody pitnej i wód powierzchniowych, gleby i powietrza oraz, w przypadku niektórych laboratoriów, diagnostyka prób klinicznych pobranych od ofiar uderzeń BMR i uwolnień TSP. Zadaniem laboratoriów jest identyfikacja użytego środka, ocena zagrożenia dla ludzi, wytypowanie możliwych metod likwidacji skażeń oraz określenie właściwych sposobów udzielania pomocy porażonym*⁹⁰.

Pobieranie próbek realizuje się w dwóch zasadniczych celach – dowodowych (SIBCRA⁹¹) i operacyjnych. W pierwszym przypadku chodzi o jednoznaczne potwierdzenie faktu użycia broni masowego rażenia lub celowego uwolnienia substancji toksycznych, biologicznych lub promieniotwórczych. Jest to szczególnie ważne w sytuacji, gdy istnieje podejrzenie użycia nowego, dotychczas nieznanego środka biologicznego lub chemicznego, a ponadto, gdy broń została użyta po raz pierwszy. Zadaniem tym zajmuje się specjalnie powołany do takich celów centralny zespół pobierania próbek. W niektórych przypadkach dopuszcza się także możliwość powołania innych zespołów, stosownie do rejonu ich odpowiedzialności, posiadanego wyposażenia oraz decyzji kierownika właściwego ośrodka analizy skażeń. Wszelkie propozycje w tym zakresie oraz plan pobierania próbek przedstawia się „Administratorowi Systemu”.

Drugi przypadek – pobieranie próbek do celów operacyjnych – ma miejsce w trakcie działań bojowych, zwłaszcza wtedy, gdy naszym celem jest potwierdzenie faktu użycia BMR, określenie poziomu i rodzaju skażenia, ustalenie ro-

89 Tamże, paragraf 24.

90 Tamże, paragraf 29.

91 SIBCRA – *Sampling and Identification of biological, Chemical and Radiological Agents.*

dzaju użytych przez przeciwnika środków przenoszenia oraz określenie metod ochrony, leczenia i sposobów odkażania. Zadaniem tym zajmują się pododdziały rozpoznania skażeń. Wszystkie pobrane próbki przekazywane są do laboratoriów analitycznych zarówno polowych, jak i stacjonarnych, gdzie przeprowadzane są stosowne analizy. W szczególnych przypadkach wykonanie niektórych analiz może być powierzane także laboratoriom cywilnym. We wszystkich jednak przypadkach muszą być spełnione dokładnie określone wymagania w zakresie jakości i wiarygodności prowadzonych analiz. Wszelki transport materiałów skażonych musi być prowadzony zgodnie z przepisami o przewozie materiałów niebezpiecznych ADR.

Ośrodki analizy skażeń to ostatnie ogniwo systemu, którego głównym zadaniem jest koordynacja działania SWS na poszczególnych szczeblach dowodzenia. Inne zadania to między innymi:

- meldowanie o pierwszym uderzeniu BMR;
- wymiana informacji o uderzeniach BMR oraz powstałych w ich wyniku skażeniach, a także o uwolnieniach TSP;
- analiza i ocena danych o uderzeniach BMR, uwolnieniach TSP oraz ocena wpływu skażeń na sytuację wojsk i ludności cywilnej;
- wskazywanie rejonów rozpoznania skażeń w swojej strefie lub rejonie odpowiedzialności oraz analizowanie wyników rozpoznania, monitoringu;
- opracowywanie prognozy skażeń i przekazanie odpowiednich ostrzeżeń do zagrożonych jednostek;
- wymiana informacji o prognozowanych i rzeczywistych strefach skażeń i zniszczeń oraz prognozowanych stratach z wojskowymi i cywilnymi instytucjami;
- zabezpieczanie poszczególnych ogniw SWS w dane meteorologiczne⁹².

Ośrodki analizy skażeń występują na różnych szczeblach dowodzenia i jako takie mają różną podległość. Zgodnie z procedurami ATP-45 oraz wytycznymi Administratora SWS wyróżnia się przynajmniej cztery kategorie ośrodków. Są to:

- Ośrodek Analizy Skażeń obszaru (ACC – Area Control Centre);
- Ośrodki Analizy Skażeń strefy (ZCC – Zone Control Centre);
- Ośrodki Analizy Skażeń dowództw (CC – Collection Centre);
- Ośrodki Analizy Skażeń pododdziałów (SCC – Sub Collection Centre)⁹³.

Wszystkie informacje o uderzeniach BMR oraz uwolnieniach TSP opracowuje się i przekazuje według ściśle sformalizowanych wzorów meldunków CBRN. Istnieje sześć zasadniczych meldunków CBRN (od CBRN 1 do CBRN 6) oraz kilka

92 *Instrukcja Systemu Wykrywania Skażeń w Siłach Zbrojnych RP*, wyd. cyt., paragraf 52.

93 *Zob. Wytyczne Szefa Zarządu Obrony Przed Bronią Masowego Rażenia organizatora Systemu Wykrywania Skażeń Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 1 lipca 2015 r.*

dotychczas (na przykład meldunki SITREP, STRIKWARN). Meldunki podstawowe są przeznaczone do następujących celów:

- CBRN 1 – meldunek obserwatora zawierający parametry uderzeń BMR lub uwolnień TSP;
- CBRN 2 – meldunek zawierający zweryfikowane dane meldunków CBRN 1;
- CBRN 3 – meldunek do natychmiastowego ostrzegania zagrożonych jednostek zawierający prognozę skażeń w obszarach zagrożenia;
- CBRN 4 – meldunek zawierający dane z monitoringu lub rozpoznania skażeń⁹⁴;
- CBRN 5 – meldunek zawierający dane o rzeczywistych strefach skażeń;
- CBRN 6 – meldunek zawierający szczegółowe informacje o uderzeniach BMR i uwolnieniach TSP⁹⁵.

Oprócz meldunków podstawowych opracowywane są również meldunki meteorologiczne. W przypadku zagrożeń bronią jądrową wykorzystuje się dwa typy meldunków, tj. BWM – *Basic Wind Message* oraz EDM – *Effective Downwind Message*⁹⁶.

94 Meldunek ten używany jest jeśli nie zaobserwowano momentu uderzenia BMR, a wykryto pierwsze oznaki skażeń lub gdy wykryto skażenia w trakcie rozpoznania lub monitoringu;

95 *Instrukcja Systemu Wykrywania Skażeń...*, wyd. cyt., paragraf 62.

96 Szczegółowe informacje na temat wszystkich meldunków czytelnik znajdzie w publikacjach: J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, AON, Warszawa 2006 oraz J. Solarz, M. Młynarczyk, *Wybrane problemy prognozowania skażeń*, AON, Warszawa 2009.

2

PROGNOZOWANIE W PROCESACH DECYZYJNYCH

2.1. Zadania decyzyjne

Świadomy wybór jednego z możliwych wariantów działania nazywamy decyzją¹, natomiast potrzeba jej podjęcia pojawia się zawsze wtedy, gdy stajemy w obliczu jakiegoś problemu². Bardziej precyzyjnie przedstawia to J. Supernat, który decyzję definiuje jako akt świadomego i nielosowego wyboru jednego z rozpoznanych i uznanych za dopuszczalne kierunków działania³.

Tak rozumiane decyzje podejmujemy codziennie, gdyż niezależnie od naszej woli musimy się zmagać z różnymi problemami, których natura, skala oraz skutki oddziaływania mogą być bardzo różne. Niektóre z nich traktowane są niemal rutynowo, na przykład wybór ubrania przed wyjściem z domu, natomiast inne wymagają bardzo poważnych przemyśleń oraz licznych przygotowań. W efekcie wybór, którego dokonamy może mieć trzy różne konsekwencje. Może być bardzo dobry, przez co dużo zyskamy lub nie poniesiemy żadnej straty, może być właściwy, choć nie optymalny i w końcu może być bardzo złym wyborem, po którym dalsze konsekwencje będą bardzo poważne, a czasem i tragiczne.

Indywidualne podejmowanie decyzji jest ważne dla każdego z nas, jednak prawdziwe wyzwania czekają nas dopiero w strukturach zorganizowanych, których funkcjonowanie ukierunkowane jest na osiągnięcie ściśle określonych celów. I właśnie ta celowość determinuje określony schemat zachowań, bez którego wszystkie osiągnięcia byłyby przypadkowe lub trudne do uzyskania.

Trzeba jednak zauważyć, że w organizacji rzadko się zdarza, aby w podejmowaniu decyzji uczestniczyła tylko jedna osoba. Co prawda ostatnie słowo zazwyczaj należy do jednego człowieka – decydenta, jednak w procesie przygotowawczym,

1 E. Wiśniewski, *Podejmowanie decyzji, wybrane zagadnienia*, Politechnika Koszalińska, Koszalin 1998, s. 11.

2 Problem to uświadomiona niewiedza, dająca się wyrazić w postaci pytania lub zbioru pytań, na które poszukujemy odpowiedzi, których nie znamy, a chcemy poznać – zob. K. Bolesta-Kukułka, *Decyzje menedżerskie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003, s. 16.

3 J. Supernat, *Techniki decyzyjne i organizatorskie*, Kolonia Limited, Wrocław 2003, s. 17.

który doprowadził do podjęcia decyzji z pewnością uczestniczyło wiele osób. Każda bowiem decyzja opiera się na wielu faktach, informacjach, ocenach oraz ograniczeniach, których samodzielne zebranie i opracowanie rzadko jest możliwe.

W efekcie wszystkie te „okoliczności” mogą stanowić przesłanki do ostatecznej decyzji i przy jej podejmowaniu powinny być uwzględnione. Ponadto każdą decyzję, podobnie jak każdy skomplikowany i wieloetapowy proces, można podzielić na części, które są rozpatrywane osobno, często przez wyspecjalizowane grupy, po czym efekty takiej pracy są łączone w spójną całość, która ostatecznie zmaterializuje się w postaci decyzji. Jednak, aby do tego doprowadzić, należy dysponować jednolitym kryterium, które w jasny i jednoznaczny sposób pozwala na porównanie wszelkich skutków podejmowanej decyzji. W praktyce korzystamy zwykle z więcej niż jednego kryterium, bowiem skutki każdej decyzji rzadko są jednowymiarowe. Takie podejście pozwala nam na ustalenie najlepszego wariantu działania i w efekcie na podjęcie decyzji optymalnej.

Według J. O'shaughnessy'a każdy problem, który wymaga decyzji można rozważać w kategoriach opisu, wyjaśnienia, przewidywania, oceny i zalecenia działania⁴. Zgodnie z tą kwalifikacją wyróżnia on decyzje opisowe, wyjaśniające, przewidujące, oceniające oraz zalecające. Taka interpretacja budzi jednak uzasadnione wątpliwości przynajmniej z dwóch powodów. Po pierwsze rzadko, kiedy problemy będą tak skonstruowane, aby można było przyjąć dokładnie jedną kategorię kwalifikacji problemu. Zazwyczaj jest to swoisty konglomerat różnych kategorii, bez wyraźnego rozdziału między nimi.

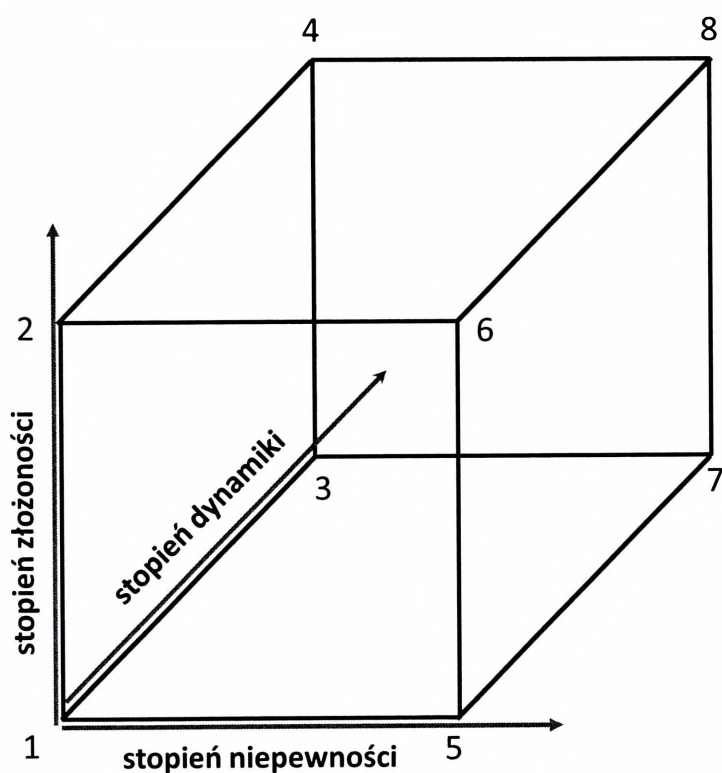
Po drugie, nawet jeśli linia rozdziału jest w jakiś sposób widoczna, to dla decydenta w większości przypadków nie będzie to miało znaczenia. Liczy się, bowiem efekt końcowy (decyzja), który musi uwzględniać „wszystkie” aspekty problemu decyzyjnego. W ten sposób szczegółowe rozdzielanie rozpatrywanych zagadnień na wyraźne kategorie desygnacji, oceny oraz zaleceń działania rzadko będzie potrzebne, a w pewnych przypadkach nawet niepożądane. Istotą decyzji, jest bowiem wybór najlepszego wariantu działania, a nie naukowe rozważania nad strukturą logiczną danego problemu.

Wspomniano już, że dokonanie każdego wyboru nie jest możliwe w oderwaniu od konkretnych faktów, uwarunkowań czy ograniczeń. Zadania decyzyjne powstają bowiem zawsze wtedy, gdy pojawiają się określone problemy do rozwiązania, a których konsekwencje stanowią ważny aspekt naszego dalszego działania. Tym samym warto wprowadzić pojęcie środowiska decyzji lub, jak woli H.A. Simon, środowiska wyboru. Uznaje on, że jest to zbiór różnych możliwych zachowań, z których każde prowadzi do określonych spodziewanych konsekwencji. Zauważa przy tym, że

4 J. O'shaughnessy, *Metodologia decyzji*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1975, s. 28–31.

owa wiedza o konsekwencjach określonego zachowania ma największy wpływ na podjęcie każdej decyzji. Dostrzega także drugi parametr, mający podobny wpływ na dokonywanie wyborów, a którym są preferencje osoby przejawiającej zachowanie, dotyczące jednego zbioru konsekwencji w porównaniu z drugim. W konkluzji stawia tezę, że problem wyboru to problem opisanie konsekwencji, dokonania ich oceny i połączenia ich z możliwymi zachowaniami⁵.

Inną, równie ciekawą interpretację przedstawił J. Koziński, który cytując R.A. Howarda⁶ uznał, iż problemy decyzyjne są częścią środowiska, w jakim człowiek działa. Zgodnie z tym środowisko przedstawił w formie trójwymiarowej przestrzeni, w której ramy określają takie cechy jak: niepewność, dynamika i złożoność. Graficzną interpretację tak pojętego środowiska decyzji przedstawiono na rysunku 5.



Źródło: J. Koziński, *Psychologiczna teoria decyzji*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1975, s. 42.

Rysunek 5. Trójwymiarowe środowisko decyzji

5 H.A. Simon, *Podjęcie decyzji i zarządzanie ludźmi w biznesie i administracji*, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2007, s. 108–109.

6 R.A. Howard, A.E. Abbas, *The foundations of decision analysis*, IEEE Transactions on Systems, Science and Cybernetics, SSC-4, tom 3, s. 211–219.

Wszystkie wymienione przez Howarda cechy środowiska decyzji mają ściśle określony wpływ na rodzaj i charakter zadań decyzyjnych. Zgodnie z tym każdy róg sześcianu odzwierciedla jeden z ośmiu typów zadań. Łatwo zauważyć, że lewa strona sześcianu (rogi 1, 2, 3, 4) definiuje zadania, które mają zerowy poziom niepewności (ryzyka). Takie zadania mają ściśle zdeterminowane rozwiązania decyzyjne, które zależą wyłącznie od kategorii określonych przesłanek, stopnia ich złożoności oraz dynamiki, przy czym każdy parametr jest decydentowi znany i ma ustaloną wielkość. Z tego względu ten typ zadań decyzyjnych nazwano zadaniami *deterministycznymi* lub *nieryzykownymi*. Podejmowanie decyzji w warunkach całkowitej pewności zachodzi tylko sporadycznie, dlatego rzadko są podmiotem jakichś głębszych dociekań. Dla porządku warto jednak zacytować za Kozięleckim, że zadania deterministyczne *mogą być proste i statyczne (róg 1), złożone i statyczne (róg 2), proste i dynamiczne (róg 3) oraz złożone i dynamiczne (róg 4)*⁷.

Po drugiej stronie sześcianu (rogi 5, 6, 7, 8) odnajdziemy zadania zupełnie innego typu, bowiem tam znajdują się zadania ryzykowne, w których poziom niepewności jest bardzo duży, gdyż przynajmniej jeden z rozpatrywanych parametrów jest zmienną losową z określonym prawdopodobieństwem. Brak pewności, co do wyniku decyzji powoduje, że nazywamy je zadaniami *probabilistycznymi*. Ich podział jest taki sam jak w przypadku zadań deterministycznych.

Specyfika i charakter probabilistycznych zadań decyzyjnych decydują o tym, że wszelkie decyzje podejmowane w sytuacji braku pewności zawsze generują wiele poważnych problemów i wyzwań. Nie dziwi więc fakt, że jedna z najbardziej znanych typologii decyzji opiera się na stopniu wiedzy (pewności) decydenta o przyszłych zdarzeniach i skutkach, które te zdarzenia implikują. J. Supernat wyróżnia przy tym trzy rodzaje decyzji:

1. *Decyzje podejmowane w warunkach pewności*, w których decydent posiada informacje wystarczające do bezbłędnego przewidzenia wyniku każdego wariantu działania.

2. *Decyzje podejmowane w warunkach ryzyka*, kiedy wiedza decydenta o przyszłości pozwala mu na określenie dla każdego z rozpatrywanych kierunków działania wszystkich możliwych wyników i przypisanie im określonego prawdopodobieństwa ich wystąpienia.

3. *Decyzje podejmowane w warunkach niepewności*, gdy prawdopodobieństwo wystąpienia możliwych skutków nie jest znane i nie może być określone⁸.

Niezależnie od rodzaju wymienionych wyżej decyzji każdorazowo przy ich podejmowaniu dokonujemy wyboru, który z punktu widzenia decydenta powi-

7 J. Kozięlecki, *Psychologiczna teoria decyzji*, wyd. cyt., s. 43.

8 J. Supernat, *Techniki decyzyjne i organizatorskie*, wyd. cyt., s. 27.

nien być najlepszy. Co to jednak oznacza? Skąd wiemy, że decyzja jest dobra i jak to ocenić? Istnieje szereg teorii wartościowania decyzji, jednak by uniknąć niepotrzebnych tu rozważań, możemy uznać, modyfikując pogląd J.R. Gordona, że dobra decyzja oznacza taką, która umożliwi zaspokojenie potrzeb decydenta, przy uwzględnieniu skutków decyzji oraz wszelkich ograniczeń społecznych, finansowych, czasowych, a w przypadku wystąpienia skażeń także zdrowotnych⁹. Warto przy tym zauważyć, że szczególna wartość, a jednocześnie trudność tej interpretacji polega na przewidywaniu efektów decyzji, podejmowanych w warunkach ryzyka i niepewności.

2.2. Ryzyko i niepewność

Ryzyko to termin powszechnie znany, który nie ma jednoznacznej definicji. Prawdopodobnie wynika to z jego wieloznaczności i licznych, naukowych lub potocznych interpretacji. Najczęstszym sposobem jego pojmowania jest zagrożenie, czyli coś, co potencjalnie może być dla nas niebezpieczne. Nie ma przy tym znaczenia ani rodzaj tego zagrożenia ani jego zakres, wystarczy sama obecność niebezpieczeństwa. Warto przy tym pamiętać, że owa obecność nie jest rzeczywista, tylko potencjalna, natomiast to, jak odbieramy ryzyko zależy wyłącznie od naszej wiedzy, światopoglądu, wartości moralnych i społecznych, kultury, środowiska oraz wielu innych czynników, które trudno nieraz sprecyzować. Nasza wiedza na dany temat nigdy nie jest pełna, dlatego nie znając wszystkich relacji przyczynowo-skutkowych za każdym razem musimy weryfikować nasze przekonania o możliwych skutkach danego ryzyka.

Ponadto, informacja o zagrożeniu może zostać zmanipulowana przez wzmocnienie lub osłabienie mocy sygnałów, które do nas docierają, w taki sposób, że z pozoru błahе zagrożenia wydają się nam bardzo poważne, natomiast zagrożenia realne, dużo poważniejsze są często lekceważone i szybko zapomniane. Taka interpretacja ryzyka w świadomości społecznej nosi nazwę koncepcji społecznego wzmocnienia ryzyka (SARF)¹⁰. W „manipulacji” może uczestniczyć wiele podmiotów, a wśród nich: naukowcy, media, agendy rządowe, organizacje proekologiczne, lokalni liderzy partyjni i samorządowi, organizacje zarządzające ryzykiem, grupy lobbujące i inni.

9 Por. J.R. Gordon, *A Diagnostic Approach to Organizational Behavior*, Allyn & Bacon, Boston 1991, s. 242.

10 J.X. Kasperson, R.E. Kasperson, N. Pidgeon, P. Slovic, *The Social Amplification of Risk: Assessing 15 years of research* [w:] N. Pidgeon, R.E. Kasperson, P. Slovic (red.), *The Social Amplification of Risk*, Cambridge University Press, Cambridge 2003, s. 13–46.

Słownik języka polskiego definiuje ryzyko jako: możliwość, prawdopodobieństwo, że coś się nie uda; przedsięwzięcie, którego wynik jest nieznan, niepewny, problematyczny; odważenie się na takie niebezpieczeństwo, ryzykowanie¹¹. Taka interpretacja może wydawać się mało precyzyjna, co jednak powiemy po zapoznaniu się z interpretacją D. Garlanda, który twierdzi, że ryzyko to kalkulacja, ryzyko to towar, ryzyko to kapitał, ryzyko to technika władzy. Ponadto ryzyko jest obiektywne i naukowo poznawalne, ryzyko jest subiektywne i konstruowane społecznie, ryzyko to problem, zagrożenie, źródło niepewności, a także ryzyko to przyjemność, dreszcz emocji, źródło dochodów i wolności oraz sposób na kolonizację i kontrolę przyszłości¹².

Ciekawą klasyfikację proponuje B. Wynne, który umieścił ryzyko w jednej z czterech kategorii, które utworzono na podstawie wariacji charakteru zagrożeń typu znane/nieznanne oraz wiadome/niewiadome. Kategorie są następujące:

- *Ryzyko – definiowane jako wiadome nam przyszłe zagrożenia, których prawdopodobieństwo może zostać obliczone statystycznie;*
- *Niepewność – dotyczy tych znanych nam potencjalnych zagrożeń, których prawdopodobieństwa nie da się ustalić (znane niewiadome);*
- *Niewiedza – opisuje te przypadki zagrożeń, które są nieznanne i niewiadome;*
- *Nieokreśloność – przewidziana dla zagrożeń w danym momencie nierozpoznawalnych i niemożliwych do przewidzenia, ponieważ o ich istnieniu nie świadczy żadna znana nam prawidłowość (nierozpoznawalne niewiadome)*¹³.

Z kolei P. Hopkin, w swoim opracowaniu¹⁴, nie ogranicza się do jednej definicji ryzyka, zamiast tego przytacza kilka ważniejszych interpretacji, zawartych w światowych normach i publikacjach dotyczących ryzyka. Ich wykaz przedstawiono w tabeli 8.

Z przytoczonych definicji łatwo zauważyć, że niezależnie od źródła interpretacji, przy określaniu ryzyka prawie zawsze wymienia się dwie cechy. Są to skutki (konsekwencje) oraz prawdopodobieństwo ich wystąpienia.

W zależności od rodzaju działalności ryzyko może mieć różne oblicza. Może mieć bardzo konkretne skutki (pozytywne lub negatywne), może też wywołać niepewność. W rezultacie można przyjąć, że ryzyko może być źródłem trzech stanów:

11 M. Szymczak (red.), *Słownik języka polskiego*, tom trzeci, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1989, s. 155.

12 D. Garland, *The rise of risk* [w:] R.V. Ericson, A. Doyle (red.), *Risk and morality*, University of Toronto Press, Toronto 2003, s. 49.

13 B. Wynne, Uncertainty and Environmental Learning, *Global Environmental Change*, 2(2), s. 111–127, cyt. za J. Arnoldi, *Ryzyko*, Wydawnictwo Sic!, Warszawa 2011, s. 113.

14 P. Hopkin, *Fundamentals of Risk Management*, Kogan Page, London, Philadelphia, New Delhi 2010.

szansy, straty lub niepewności. Każdy stan jest ściśle związany z konkretnym rodzajem ryzyka, które ma swoje własne cechy, wymagające specyficznego zarządzania lub analizy. Zgodnie z tym w Guide 73 ryzyko zostało podzielone na trzy kategorie:

- Hazard (pure) risk – ryzyko czyste;
- Control risk (uncertainty) – ryzyko niepewności;
- Opportunity (speculative) risk – ryzyko spekulacyjne.

Tabela 8

Definicje ryzyka

Lp.	Organizacja	Definicja ryzyka
1.	ISO Guide 73 ISO 31000	Wpływ niepewności na cele. Wpływ niepewności powoduje odchylenie od oczekiwań – pozytywne i/lub negatywne. Cele mogą dotyczyć różnych aspektów (takich jak: finansowe, zdrowia, i bezpieczeństwa, środowiskowe) oraz mogą być stosowane na różnych szczeblach. Ryzyko jest często określane w odniesieniu do potencjalnych zdarzeń i następstw lub ich kombinacji. Ryzyko jest często wyrażane jako kombinacja następstwa zdarzenia i związanego z nim prawdopodobieństwa jego wystąpienia.
2.	Institute of Risk Management (IRM)	Ryzyko jest kombinacją prawdopodobieństwa zdarzenia i jego konsekwencji. Konsekwencje mogą być zarówno pozytywne, jak i negatywne.
3.	„Orange Book” from HM Treasury	Niepewność wyniku, odnośnie narażenia wynikającego z kombinacji skutków i prawdopodobieństwa danego zdarzenia.
4.	Institute of Internal Auditors	Niepewność skutków zdarzenia, które mogą mieć wpływ na realizację celów. Ryzyko jest mierzone w kategoriach konsekwencji i prawdopodobieństwa.
5.	Definicja P. Hopkina	Zdarzenie z możliwością wpływania (hamowania, wzmocnienia lub stwarzania wątpliwości) na misję, strategię, projekty, rutynowe działania, cele, podstawowe, kluczowe procesy, ważne zależności i oczekiwania udziałowców (interesariuszy).

Źródło: opracowanie własne na podstawie: P. Hopkin, *Fundamentals of Risk Management*, wyd. cyt., s. 12 oraz PN-ISO 31000, *Zarządzanie ryzykiem, zasady i wytyczne*, PKN, Warszawa 2012, s. 15.

Autorzy tego podziału uznali, że istnieją pewne ryzyka (zagrożenia), które będą powodować wyłącznie efekty negatywne. Ten rodzaj ryzyka nazywamy ryzykiem czystym, czyli takim, w którym istnieje pewność, że jeśli dane zagrożenie rzeczywiście wystąpi to dojdzie do negatywnych następstw. Taki typ ryzyka związany jest z zagrożeniami o dużej sile negatywnego oddziaływania, zwłaszcza w takich obszarach jak: zdrowie, środowisko, czy ogólnie pojmowane bezpieczeństwo. Na ogół nie da się go całkowicie wyeliminować, można natomiast ustalić próg tolerancji ryzyka, powyżej którego funkcjonowanie projektu, firmy, organizacji itp. jest zagrożone. Ze względu na swoje negatywne konsekwencje większość metod i technik zarządzania ryzykiem odnosi się do tego typu ryzyka. Ryzyko skażeń powstałych po uderzeniach jądrowych też należy do tej kategorii.

Drugą kategorię ryzyka stosuje się przeważnie do zarządzania projektami lub organizacją. Występuje w niej grupa ryzyk, które wprowadzają niepewność odnośnie wyniku konkretnych zdarzeń lub sytuacji. Niepewność ta może dotyczyć zarówno korzyści jakie zamierzamy uzyskać, jak i zakłóceń oraz problemów związanych z realizacją projektu (np. czas, budżet, specyfikacje). W tych warunkach, wiadomo, że pewne zdarzenia wystąpią, jednak dokładne określenie ich skutków jest trudne do przewidzenia i ewentualnej kontroli. Jedynym rozwiązaniem pozostaje więc minimalizacja skutków oraz zasięgu tych zdarzeń. Ryzyka tego rodzaju są związane ze zdarzeniami nieznanymi i nieoczekiwanymi, dlatego czasami określane są jako ryzyka niepewności, i jako takie mogą być bardzo trudne do oszacowania. Jednak, gdy pod uwagę weźmiemy czas i miejsce występowania owych niepewności to ten rodzaj ryzyka można by nazwać ryzykiem zarządczym.

Trzecia kategoria – ryzyko spekulacyjne (ryzyko szans) obejmuje dwa aspekty. Pierwszy dotyczy sytuacji, w której istnieje ryzyko (zagrożenia) związane z podjęciem wyzwania (wykorzystania szansy), natomiast drugi aspekt występuje wtedy, gdy ryzyko (zagrożenie) powstaje, jeśli nie skorzystamy z okazji. Podejmując takie wyzwania (ryzyko spekulacyjne) oczekujemy wyniku pozytywnego, który jednak nie jest gwarantowany.

Powyższy podział, choć ciekawy nie może być traktowany jako ten jedyny, właściwy, jest to bowiem tylko jedna z wielu możliwych klasyfikacji ryzyka. Dużo częściej spotkamy się z podziałem na dwa rodzaje ryzyka – czyste i spekulacyjne, a o tym, który system podziału jest najlepszy decyduje konkretny decydent w oparciu o własne wymagania i warunki.

Nie ulega przy tym wątpliwości, że w działaniach bojowych, a zwłaszcza w warunkach użycia broni jądrowej, najważniejszym rodzajem ryzyka będzie ryzyko czyste. Podejmowanie decyzji w sytuacji masowych skażeń, przede wszystkim, musi się opierać na jednym zasadniczym priorytecie, jakim jest ochrona zdrowia i życia żołnierzy, a także innych osób zaangażowanych w działania. Mimo to można sobie wyobrazić, że w pewnych sytuacjach aspekt bezpieczeństwa może nie odgrywać najważniejszej roli, ustępując miejsca innym priorytetom, na przykład konieczności wykonania szczególnie ważnego zadania. Nie oznacza to jednak, że w takich sytuacjach życie człowieka nie ma żadnego znaczenia, wręcz odwrotnie należy tak zaplanować wykonanie zadania, aby zagrożenie zdrowia lub życia było jak najmniejsze. Dlatego też od decydentów wymaga się, aby zagrożenia dla bezpieczeństwa poszczególnych osób były maksymalnie zredukowane, aż do akceptowalnych poziomów.

Powyższe konstatacje wydają się całkiem oczywiste, jednak, jak zawsze w trudnych sytuacjach, pojawiają się pytania, a mianowicie – jaki poziom ryzyka jest dostatecznie niski, skąd wiemy, że ryzyko jest akceptowalne lub nie oraz któ-

re ograniczenia są dopuszczalne, a które nie? W efekcie te i inne pytania muszą znaleźć odpowiedź, jednak będzie ona możliwa dopiero po poznaniu wszystkich ograniczeń oraz możliwości optymalizacji decyzji.

2.3. Optymalizacja decyzji i jej ograniczenia

Wszelkie działanie, niezależnie czy celowe, czy też nie, musi uwzględniać różnorodne uwarunkowania, które w mniejszy lub większy sposób wpływają na ich skuteczność. Uwzględnienie wszystkich warunków jest jednak mało prawdopodobne, co wynika z ich ogromnej różnorodności i znacznej nieprzewidywalności. Mimo to planując działania, chociaż część uwarunkowań musi być uwzględniona, a przynajmniej ta najważniejsza.

Jeszcze więcej oczekuje T. Kotarbiński, który mówi, iż *wszystko, co było celem sprawcy danego impulsu dowolnego, było przezeń zamierzone, lecz nie tylko to, gdyż zamierzone było wszelkie takie zdarzenie, które sprawca przewidywał jako jeden ze skutków swojego impulsu, choćby wywarł impuls dla innego celu*¹⁵.

Z przytoczonych słów wynika, że każde działanie może powodować zarówno efekty pożądane, niezbędne do osiągnięcia celu, jak i inne, które mogą przeszkadzać w jego realizacji. Tym samym, każda decyzja musi być podejmowana nie tylko przy pełnej świadomości konsekwencji, ale także powinna te konsekwencje w miarę możliwości minimalizować.

Istotne ograniczenia, i to w szerokim zakresie, dostrzegamy także w typowym sposobie myślenia człowieka. J. Antoszkiewicz uważa, iż *człowiek woli wprowadzać rozwiązania, które wielokrotnie wypróbował, „sprawdził”. Nie zawsze bierze pod uwagę, czy zastosowanie nowego wariantu przynosi korzyści czy straty. Można więc spostrzec pewną prawidłowość ludzkiego postępowania, która wyraża się w upartym forsowaniu przeszłości i niechętnym poszukiwaniu twórczej propozycji*¹⁶.

Takie podejście koresponduje z poglądami H. Garfinkela, który obok obiektywnego dociekania prawdy wyróżnia tzw. *racjonalność potoczną*, ukierunkowaną na osiągnięciu celów bardziej praktycznych niż sama tylko chęć poznania¹⁷. Podejście to może wynikać z faktu, że każdy człowiek w swoim działaniu nie jest jedynie obserwatorem rzeczywistości, ale także jej uczestnikiem, który codziennie musi podejmować określone działania bez ich naukowej interpretacji. W swoim postępowaniu nie

15 Zob. T. Kotarbiński, *Traktat o dobrej robocie*, wyd. cyt., s. 41, cyt. za: E. Gablewicz, „Przeгляд Filozoficzny”, Warszawa 1932, s. 2–4.

16 J. Antoszkiewicz, *Metody heurystyczne*, PWE, Warszawa 1982, s. 64.

17 H. Garfinkel, *Racjonalne cechy działalności naukowej i potocznej* [w:] E. Mokrzycki (red.), *Kryzys i schizma*, PWN, Warszawa 1984.

musi znać naukowych teorii, ale musi mieć wiedzę potwierdzoną praktyką. W efekcie można wyodrębnić tzw. *empiryczne uczenie się zbiorowe*, które nie polega na prostym poszukiwaniu prawdy, lecz na wymyślaniu i sprawdzaniu skuteczności różnych sposobów działania. Tym samym, jak uważa K. Bolesta-Kukułka, jego racjonalność jest społecznie uwarunkowana, empiryczna, konkretna i „plemienna”¹⁸.

Pomijając jednak problem pokonywania barier i ułomności ludzkiego myślenia, do podstawowych ograniczeń skutecznego działania zaliczamy zwykle ograniczenia wynikające z czterech kategorii zasobów. Są to: będące w dyspozycji rzeczy, czas, którym dysponujemy, posiadane siły oraz przestrzeń, w której działamy. Łatwo zauważyć, że takie podejście jest bezpośrednim odniesieniem do poglądów Tadeusza Kotarbińskiego, który wyróżniał: czas, przestrzeń, materię i energię¹⁹. W tym miejscu powstaje jednak pytanie, jak odnieść powyższe kategorie zasobów do oceny możliwości prognozowania skażeń? Aby na nie odpowiedzieć należy dokonać pewnej transformacji polegającej na zamianie wspomnianych kategorii zasobów na pojęcia, które są bezpośrednim wyrazicielem możliwości prognozowania skażeń. Po konwersji, poszczególne kategorie mogą wyglądać następująco:

- czas – szybkość zebrania danych, czas określania parametrów uderzeń bronią jądrową, czas przesłania informacji, czas formowania obłoku promieniotwórczego, czas wypadania cząstek, szybkość wykonania prognozy;
- przestrzeń – obszar zainteresowania, zasięg źródeł informacji, warunki meteorologiczne, obiekty terenowe, struktura i charakter opadu promieniotwórczego;
- siły (energia) – liczba jednostek zbioru danych, skład i możliwości ośrodków analizy skażeń, jakość i możliwości ogniów analitycznych, dodatkowe źródła informacji;
- środki (materia) – środki łączności i transmisji danych, liczba i jakość sprzętu do prognozowania, uniwersalność i niezawodność sprzętu oraz oprogramowania.

Mając na uwadze wyżej wymienione kategorie i ich składowe można uznać, że podejmowanie decyzji prognostycznych w warunkach występowania skażeń jądrowych (lub groźby ich wystąpienia) nie będzie zadaniem łatwym. Szczególnie trudny wybór może się pojawiać zwłaszcza wtedy, gdy od naszych decyzji będzie zależeć zdrowie lub życie żołnierzy, a takie wybory z pewnością się pojawią, gdy dojdzie do uderzeń jądrowych.

Każda sytuacja decyzyjna, niezależnie od rodzaju problemu, powstaje wtedy, gdy mamy przynajmniej dwie opcje działania. Zazwyczaj oceniamy wszystkie wady i zalety każdej z nich i podejmujemy decyzję, którą uważamy za najlepszą.

18 K. Bolesta-Kukułka, *Decyzje menedżerskie*, wyd. cyt., s. 130–131.

19 Zob. T. Kotarbiński, *Traktat o dobrej robocie*, wyd. cyt., s. 379–391.

Dużo częściej jednak, gdy problemy są znacznie bardziej skomplikowane, prosty wybór jednego z wariantów nie jest możliwy i mówimy wtedy o optymalnym wyborze wariantu działania.

Pojawia się więc pojęcie *optymalizacji*, które na ogół rozumiemy jako działanie zmierzające do wyboru najbardziej skutecznego (efektywnego) rezultatu, przy jak najmniejszych ograniczeniach, które w danych warunkach istnieją. Innymi słowy chodzi o to, aby osiągnąć założone cele w taki sposób, który zagwarantuje minimum kosztów, czasu lub ryzyka oraz maksimum pożądaných efektów. To samo, ale wyrażone językiem matematycznym może oznaczać – *poszukiwanie najlepszego rozwiązania danego zagadnienia. Rozwiązaniem najlepszym, czyli optymalnym, może być minimum bądź maksimum jakiegoś wskaźnika jakości*²⁰.

H.A. Simon uważa, że wszystkie decyzje są wynikiem kompromisu. *Opcja, która zostaje w końcu wybrana, nigdy nie pozwala na całkowite czy idealne osiągnięcie celów, ale jest najlepszym możliwym rozwiązaniem w danej sytuacji. Okoliczności zawsze ograniczają dostępne możliwości wyboru, określają więc maksymalny możliwy poziom osiągnięcia celu*²¹. Niejednoznaczność oraz trudność określenia tego poziomu dodatkowo się komplikują, gdy nasze działanie ukierunkowane jest na kilka celów jednocześnie, a istniejące uwarunkowania (ograniczenia) są wzajemnie sprzeczne.

Trzeba jednak zaznaczyć, iż wybór optymalny rzadko będzie najlepszy, zamiast tego będzie to wybór najwłaściwszy, ale tylko w bezpośrednim odniesieniu do przyjętych kryteriów i istniejących ograniczeń. W rzeczywistości rozwiązania idealne istnieją tylko w teorii²², która jako pewien uproszczony model rzeczywistości jest praktycznie nie do zrealizowania. Tak traktowaną optymalizację można by więc sprowadzić do poszukiwania takiego rozwiązania, które będzie lepsze niż wszystkie inne. Szczegółową analizę tej kwestii przedstawił H.A. Simon, który w swojej pracy²³ uważa, że *relatywnie znacznie częściej niż decyzje optymalne podejmowane są decyzje zadowalające, gdyż praktyka dowodzi, że człowiek w wielkich organizacjach nie jest zdolny do optymalizacji, czyli powzięcia decyzji najlepszej, pozwalającej np. zoptymalizować posiadane środki, uwzględniając z góry wytyczone cele i istniejące ograniczenia, lecz kontentuje się pierwszym rozwiązaniem,*

20 K. Amborski, *Podstawy metod optymalizacji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009, s. 5.

21 H.A. Simon, *Podejmowanie decyzji i zarządzanie ludźmi...*, wyd. cyt., s. 23.

22 Teoria traktowana, jako system pojęć, definicji, aksjomatów i twierdzeń ustalających relacje między tymi pojęciami i aksjomatami, tworzący spójny system pojęciowy opisujący jakąś dziedzinę.

23 H.A. Simon, *Działanie administracji*, PWN, Warszawa 1976.

*które wyda mu się zadowalające z punktu widzenia kryteriów, jakie sobie postawił lub jakie zostały mu w ten czy inny sposób narzucone*²⁴.

Przedstawione podejście opiera się na założeniu, że każda działalność zmierzająca do znalezienia najlepszych (optymalnych) rozwiązań może być rozpatrywana w kategoriach optymalizacji, chociaż zazwyczaj mówimy o doskonaleniu, ulepszaniu czy poprawianiu. W teorii poświęconej optymalizacji przyjmuje się, że do wyznaczenia obiektywnie najlepszego rozwiązania należy stosować metody optymalizacji traktowane jako określone metody matematyczne. Zasada ich wykorzystania w zadaniach optymalizacyjnych polega na zbadaniu funkcji zmiennych decyzyjnych tak, aby ich wartość przyjmowała wielkości największe lub najmniejsze, przy uwzględnieniu wszystkich zadanych ograniczeń.

Metody tego typu muszą jednak uwzględniać cały szereg uwarunkowań kryterialnych, które powodują, że ich liczba, jak i stopień zróżnicowania mogą być znaczne. Ich podstawową typologię przedstawiono w tabeli 9.

Stosowanie programowania matematycznego wciąż jednak jest ograniczone z trzech zasadniczych powodów²⁵. Pierwszym z nich jest niedokładność opisu realnego systemu za pomocą modelu matematycznego. Model, opisuje bowiem system, będący w ściśle ustalonym stanie i nie uwzględnia zmian, które ustawicznie w nim zachodzą. Jednak wiadome jest, że każda ocena parametrów badanego systemu jest bezpośrednio warunkowana liczbą i charakterem danych wejściowych. Ich zmiana powoduje konieczność ponownego wykonania obliczeń, co nie zawsze jest możliwe. Niezwykle istotne jest także ustalenie odpowiednich kryteriów optymalizacji, gdyż każdy program może wyliczać optymalne rozwiązania wyłącznie w stosunku do założonych i wprowadzonych do programu kryteriów. Ich brak lub niewłaściwość całkowicie neguje sens jakiegokolwiek optymalizacji.

Drugim powodem, który ogranicza użyteczność matematycznych metod optymalizacji jest dostęp do danych. Zazwyczaj, podczas badania jakiegoś procesu, systemu lub zjawiska wszystkie dane są wprowadzane w sposób manualny lub programowy. Z oczywistych względów jednak, możliwość płynnego ich uzupełniania lub przetwarzania (zmieniania) nie zawsze jest realna, co w efekcie powoduje poważne zakłócenie obliczeń, a w niektórych przypadkach nawet ich przerwanie. Ocenia się, że do efektywnego stosowania optymalizacji konieczny jest automatyczny dostęp do wymaganych danych oraz szybkie ich generowanie i przetwarzanie.

Ostatnim ograniczeniem jest duża złożoność badanych systemów, która powoduje niemożność lub niewydolność matematycznej kwantyfikacji realnie za-

24 P. Sienkiewicz, *Inżynieria systemów*, MON, Warszawa 1983, s. 122.

25 Zob. H.J. Runka, *Optymalizacja w procesach gospodarczych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2003, s. 280.

chodzących procesów oraz ich algorytmizacji. Ponadto zawsze istnieje problem wiarygodności informacji przetwarzanych przez komputer, co wymusza nieustanny nadzór człowieka na każdym etapie tego procesu.

Tabela 9

Typologia zadań optymalizacyjnych

Kryterium	Typ zadania
Postać funkcji kryterialnej i ograniczeń	– liniowe – nieliniowe
Postać zmiennych decyzyjnych	– ciągłe – dyskretne (całoczbowe, binarne)
Charakter parametrów	– deterministyczne – probabilistyczne
Liczba stopni (etapów) procesów decyzyjnych	– statyczne – dynamiczne (ciągłe, dyskretne)
Liczba funkcji kryterialnych	– jednokryterialne – wielokryterialne
Typ pojęć opisujących zadanie	– „ostre” – „nieostre” (rozmyte)

Źródło: P. Sienkiewicz, *Inżynieria systemów*, wyd. cyt., s. 172.

Skażenia promieniotwórcze, powstałe w efekcie wykonania naziemnych uderzeń jądrowych generują niezwykle trudną i skomplikowaną sytuację, w której zagrożenie zdrowia i życia ludności jest bardzo poważne, a obszar ich oddziaływania obejmuje teren liczony w setkach kilometrów kwadratowych. Z tego powodu wszystkie wymienione wyżej ograniczenia z pewnością będą miały miejsce w decyzjach podejmowanych przed lub po wystąpieniu skażeń jądrowych. Wciąż bowiem istnieje niejednorodność opisu modeli opadu promieniotwórczego, dostęp do danych nie jest pełny lub nieterminowy, a ponadto ilość i złożoność pojawiających się informacji znacznie przekracza możliwości ich algorytmizacji. To z kolei powoduje, że modele matematyczne, choć przydatne nie mogą być jedynym sposobem wspomaganie decyzji, zwłaszcza tak trudnych jak to ma miejsce podczas skażeń.

2.4. Metody i funkcje prognozowania

Wszystkie problemy wymagające decyzji mogą mieć bardzo różny zakres i charakter i jako takie wymykają się spod jednolitej klasyfikacji. Mimo to można się zgodzić, że w zależności od problemu decydent podejmuje decyzje, które są programowalne (rozwiązywanie problemów deterministycznych), częściowo programowalne (rozwiązywanie problemów probabilistycznych) oraz nieprogramowalne (rozwiązywanie

problemów indeterministycznych, czyli całkowicie „otwartych”). Mówiąc inaczej te pierwsze są podejmowane w warunkach pewności, drugie – w warunkach ryzyka, trzecie zaś – w warunkach całkowitej niepewności²⁶.

Rodzaj, a w zasadzie charakter owych problemów wskazuje na potrzebę wspomaganie procesów decyzyjnych przy pomocy określonych metod. Wśród nich zazwyczaj wymienia się badania operacyjne, statystykę, a przede wszystkim prognozowanie. Badania operacyjne obejmują metody bazujące na wzorach i modelach matematycznych, które pozwalają na wyliczenie optymalnych rozwiązań. Z tego powodu takie rozwiązania są z powodzeniem wykorzystywane do rozwiązywania problemów deterministycznych. W warunkach niepewności, gdy wymagana liczba określonych zmiennych nie jest znana, takie metody są trudne do zastosowania. Zamiast tego korzysta się z danych statystycznych, które w zależności od ich liczby, wiarygodności oraz przydatności, mogą być mniej lub bardziej użyteczne. Gdy stopień niepewności nie jest zbyt duży, a jesteśmy w stanie określić prawdopodobieństwo wystąpienia określonego zjawiska czy efektu, możemy skorzystać z wielu bardzo przydatnych metod prognozowania.

W piśmiennictwie, zwłaszcza ekonomicznym, znajdziemy liczne i obszerne opisy metod prognozowania. Jest ich wiele, gdyż prognostyka, jak każda nauka o charakterze interdyscyplinarnym adaptuje na swoje potrzeby narzędzia metodologiczne stosowane w innych rodzajach nauk. Do ważniejszych można zaliczyć:

- *opis i wyjaśnienie* – polegające na logicznych operacjach umysłowych, umożliwiających ujawnienie istoty badanego procesu lub przedmiotu oraz odniesienie go do ogólnie znanych praw i teorii;

- *analiza i synteza* – stanowiące pierwotne metody przetwarzania uzyskanych danych. Stosowane we wzajemnym powiązaniu służą do ujawniania prawidłowości poszczególnych procesów rozwoju danych zjawisk;

- *wnioskowanie dedukcyjne i indukcyjne* – polegające na uogólnianiu nowych sądów (prognostycznych) na podstawie innych sądów lub uzyskanych danych;

- *wnioskowanie przez analogię* – polegające na odwoływaniu się do zasad podobieństwa struktur. Metoda jest ceniona przy budowie hipotez prognostycznych, ekstrapolacji tendencji rozwoju oraz modelowania prognostycznego, natomiast nieprzydatna jest jako sposób uzasadniania.

Oprócz metod przedstawionych powyżej w badaniach prognostycznych można wykorzystywać wiele innych metod, jak choćby te wywodzące się z nauk matematycznych. Wśród nich możemy wyróżnić: metody interpolacji i ekstrapolacji, metody statystyki matematycznej, metody informatyczne, modelowania, metody

26 K. Bolesta-Kukułka, *Decyzje menedżerskie*, wyd. cyt., s. 180.

heurystyczne i inne²⁷. Dobierając zakres i charakter metod badawczych trzeba pamiętać, że nie zawsze i nie wszystkie metody da się zastosować. Przykładem mogą być metody statystyczne, które ze względu na konieczność prowadzenia badań na dużej populacji są mało przydatne do prognozowania skażeń. Ich niezdatność wynika także z niezwykle małej wiedzy społeczeństwa na temat skażeń, przyczyn ich powstawania oraz zakresu oddziaływania, co praktycznie uniemożliwia uzyskanie wiarygodnych wyników, w większości czyniąc te badania wysiłkiem bezzasadnym.

Patrząc na to od drugiej strony zauważamy, iż w procesach prognozowania zachodzi konieczność wielokrotnego stosowania iteracji, weryfikacji, kolejnych przybliżeń, oszacowań oraz formalizacji i algorytmizacji²⁸. Taka różnorodność czynności badawczych podczas prognozowania stanowi jeden z trudniejszych problemów metodologicznych. Owe trudności jeszcze bardziej potęguje komplementarność prowadzonych badań, w których powszechnie wykorzystuje się zarówno badania jakościowe, jak i ilościowe. Pierwsze *polegają na analizie badanych zjawisk, na wyróżnieniu w nich elementarnych części składowych, na wykrywaniu zachodzących między nimi związków i zależności, na charakteryzowaniu ich struktury całościowej, na interpretacji ich sensu lub spełnianej przez nie funkcji*²⁹. Badania ilościowe, z kolei polegają na *opisie i analizie faktów, zjawisk, procesów oraz przedstawieniu ich w formie zestawień, obliczeń, z uwzględnieniem statystyki opisowej, jak i matematycznej*³⁰. Z powyższych definicji można wysnuć wniosek, iż w badaniach ilościowych ich istotę odnajdujemy w odkrywaniu i wyjaśnianiu powiązań przyczynowo-skutkowych badanych zjawisk, natomiast w badaniach jakościowych chodzi przede wszystkim o ich zrozumienie i naukową interpretację.

Literatura obejmująca wiedzę na temat metod prognozowania jest ogromna i znacznie przekracza potrzeby niniejszej książki. Dla pogłębienia tematu warto jednak zajrzeć do prac A. Zeliasia, M. Cieślak, W. Radzikowskiego, Z. Pawłowskiego, W. Rolbieckiego, A. Filasiewicza, K. Secomskiego i wielu innych³¹. Różno-

27 Opracowano na podstawie: *Metodyka sporządzania prognoz wojskowych*, ASG, Warszawa 1986, s. 53–54; Z. Hajduk, *Ogólna metodologia nauk*, KUL, Lublin 2005, s. 62–70; J. Such, M. Szczęśniak, *Filozofia nauki*, UAM, Poznań 2006, s. 18–23.

28 *Metodyka sporządzania prognoz wojskowych*, wyd. cyt., s. 20.

29 T. Tomaszewski, *Wstęp do psychologii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1963, s. 29.

30 M. Łobocki, *Wprowadzenie do metodologii badań pedagogicznych*, Impuls, Kraków 1999, s. 55.

31 Zob. A. Zeliaś, *Teoria prognozy*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997; M. Cieślak (red.), *Prognozowanie gospodarcze, metody i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005; W. Radzikowski, *Badania operacyjne w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1977; Z. Pawłowski, *Zasady predykcji ekonometrycznej*, PWN, Warszawa 1982; W. Rolbiecki, *Przewidywanie przyszłości*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970; A. Filasiewicz *Prognoza, program, plan*, Wiedza Powszechna, Omega, Warszawa 1977; K. Secomski, *Prognozyka*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1971.

rodność metod prognozowania oraz ich poszczególnych interpretacji nie zmienia faktu, że zasadniczym celem prognozowania jest zmniejszenie ryzyka w procesie podejmowania decyzji. Zgodnie z tym można wyróżnić trzy podstawowe funkcje prognoz: preparacyjną, aktywizującą oraz informacyjną. Pierwsza, a zarazem najważniejsza z nich to funkcja preparacyjna. Jej głównym zadaniem jest przygotowanie niezbędnych działań, które wynikają z faktów (przesłanek) ujawnionych w trakcie prognozy. Trzeba jednak zaznaczyć, że ten sposób wykorzystywania prognozy będzie możliwy wyłącznie wtedy, gdy stopień zaufania odbiorcy do prognozy będzie wysoki.

W przypadku prognozowania skażeń działania, do których prognoza ma przygotować, będą zwykle dotyczyły zachowania się w terenie skażonym, sposobów jego obchodzenia czy dekontaminacji. Finalnym efektem prognozowania skażeń, mającym bezpośredni wpływ na wspomaganie procesów decyzyjnych, będą prognozy przygotowane w formie sformalizowanych meldunków NBC³².

Równie istotna jest druga funkcja prognozowania – aktywizująca, która w swej istocie ma zachęcać decydentów do podejmowania działań sprzyjających realizacji prognozy lub się im przeciwstawiać, w sytuacji, gdy przyszłe zdarzenia prognozowane są jako niekorzystne, czy wręcz niebezpieczne. W tym przypadku trzeba jednak wiedzieć, że poszczególne zdarzenia mogą być odmiennie interpretowane przez różnych ludzi i to, co dla jednego jest korzystne dla innego będzie katastrofą. Dlatego do kwalifikacji zdarzeń stosuje się tzw. systemy wartości, które muszą być jednakowo pojmowane zarówno przez prognozę, jak i decydenta.

W przypadku prognozowania skażeń przyszłe zdarzenia z reguły będą stanowić zagrożenie, dlatego ten rodzaj prognoz zazwyczaj traktuje się jako prognozy ostrzegawcze. Ich celem jest jak najwcześniejsze ustalenie rodzaju, charakteru i zasięgu zagrożenia (skażeń) i zaalarmowanie lub ostrzeżenie zagrożonych wojsk i ludności. I właśnie aspekt ostrzegania i alarmowania wojsk i ludności o skażeniach jest najbardziej jaskrawym przykładem przydatności prognozowania skażeń. Właściwa prognoza, (czyli wiarygodna i terminowa) jest podstawowym czynnikiem umożliwiającym podjęcie stosownych działań ochronnych przed rażącym działaniem BMR i skażeń.

Oprócz ostrzegania wojsk i ludności aktywizacja działań może następować także w innych obszarach, na przykład takich jak: potwierdzenie użycia broni masowego rażenia, określenie rodzaju i rozpiętości skażeń, ustalenie założeń do podjęcia działań ochronnych przed skażeniami, określenie priorytetów rozpoznania (w tym rozpoznania skażeń), identyfikacja nowych punktów ciężkości itd.

32 W meldunkach znajdziemy zarówno dane przygotowawcze do decyzji (NBC 3), jak i dane już zweryfikowane (meldunek NBC 5).

Trzecia funkcja prognozowania to funkcja informacyjna. Jej zadaniem jest oswojanie ludzi z nadchodzącymi zmianami i zmniejszanie ich lęku przed przyszłością³³. W przypadku prowadzenia działań w środowisku skażonym funkcja ta może być umowną klamrą, spinającą całość informacji o skażeniach (zarówno o ich obecnym stanie jak i prognozowanych zmianach) i pozwalającą na bezpieczne i w pełni świadome wypełnianie zadań. Do takich celów mogą być wykorzystywane wszystkie meldunki sytuacyjne, meldunki NBC, a także meldunki meteorologiczne.

Przedstawione funkcje prognozowania realizowane są w ściśle określonym otoczeniu prognostycznym, w którym wszelkie informacje o skażeniach (pозyskane, przetwarzane i wytwarzane) będą właściwie ocenione i wykorzystane. I właśnie do takich celów utworzono systemy wykrywania skażeń.

2.5. Ocena sytuacji skażeń

Instrukcja Systemu Wykrywania Skażeń przewiduje opracowanie prognoz skażeń, które będą adekwatne do posiadanych informacji, etapu działań bojowych oraz aktualnie występujących potrzeb. Jak łatwo zauważyć, kluczowym elementem każdej prognozy jest informacja, bez której wszelkie przewidywanie jest zwykłym zgadywaniem i nie ma nic wspólnego z racjonalnym działaniem. Mówiąc dalej prognozowanie skażeń promieniotwórczych może być rozpatrywane w trzech aspektach, które w dużej mierze uzależnione są od czasu i okoliczności przygotowania danej prognozy, ze szczególnym naciskiem na jej odległość od momentu powstania skażenia. Zgodnie z Instrukcją Systemu opracowuje się: przewidywaną sytuację skażeń, prognozowaną sytuację skażeń oraz rzeczywistą sytuację skażeń. Każda z nich ma swój cel, swoją specyfikę oraz ściśle określony poziom wiarygodności. Graficzną ilustrację trzech aspektów prognozowania skażeń, ograniczoną do ataków bronią jądrową przedstawiono na rysunku 6.

Z przedstawionych danych można wysnuć wniosek, że każdy rodzaj prognozowania dotyczy czegoś innego. W sytuacji przewidywanej, przede wszystkim, skupiamy się na ustaleniu czasu, miejsca i rodzaju ataku. Wielkość skażeń oraz strat jest już sprawą drugorzędną, dokładnie odwrotnie niż w sytuacji prognozowanej, w której właśnie te aspekty są zdecydowanie najważniejsze. Mimo to wszystkie procedury „przewidywania” wykorzystują dokładnie te same zasady, które są stosowane do prognozowanej sytuacji skażeń. Podstawowa różnica jest taka, że sytuację przewidywaną wykonujemy zanim nastąpią jakiegokolwiek

33 Więcej na ten temat znajdziemy w: M. Cieślak (red.), *Prognozowanie gospodarcze...*, wyd. cyt., s. 25–26.

uderzenia. Jej celem jest bowiem ocena potencjału jądrowego przeciwnika, jego intencji, możliwości wykonania uderzeń w bliżej nieustalonej przyszłości, a w następstwie określenie własnej wrażliwości na takie oddziaływanie. W ten sposób, znając swoje słabe strony, możemy podjąć odpowiednie kroki zapobiegawcze, dzięki którym, gdy dojdzie do ataków ich skutki zostaną zminimalizowane.



Źródło: J. Solarz, *Przewidywana sytuacja skażeń, czyli heurystyka w prognozowaniu* [w:] „Zeszyty Naukowe AON” nr 4, Warszawa 2009.

Rysunek 6. Typy prognozowania skażeń po wybuchach jądrowych

Opracowanie prognozowanej sytuacji skażeń pozwala zaś na lokalizację i określenie wielkości zagrożeń generowanych przez opad promieniotwórczy. Taka ilość informacji z powodzeniem zadowoli decydentów w zakresie sprawnego ostrzegania wojsk i ludności cywilnej o nadchodzącym zagrożeniu, a także planowania dalszych działań. Nie wystarczy jednak ani do dokładnego określenia miejsca opadu, ani do ustalenia wielkości mocy dawki w konkretnym miejscu i czasie. Do takich celów konieczne jest odtworzenie rzeczywistej sytuacji skażeń.

Ten typ prognozy, od dwóch poprzednich, różni się w sposób zasadniczy, gdyż główny nacisk położony jest na efekt końcowy, czyli na ustalenie „rzeczywistego obrazu” skażeń. Do tego celu wykorzystujemy materiał uzyskany w rezultacie analizy wyników szczegółowego rozpoznania skażeń, w trakcie którego przeprowadzono dokładne pomiary mocy dawki promieniowania w ściśle określonych miejscach. Dzięki temu, ten typ prognozowania skażeń uważany jest za najbardziej wiarygodny i nazywany odtwarzaniem rzeczywistej sytuacji skażeń.

Jest rzeczą oczywistą, że wszystkie trzy typy prognozowania mają swój cel, specyfikę i wyraźnie określone zastosowania. Problemem pozostaje jednak wiarygodność takich prognoz, a co za tym idzie sens ich opracowywania. Warto więc postawić pytania – czy rzeczywiście są użyteczne, do czego można je wykorzystać, a przede wszystkim co można poprawić. Na te i na inne pytania spróbujemy odpowiedzieć w następnych rozdziałach.

2.6. Cel i przedmiot prognozowania

Każda forma działalności badawczej musi być pomyślana i realizowana w określony sposób i w ściśle ustalonych warunkach, które pozwolą na osiągnięcie celu podjętych badań. Według S. Nowaka podstawą wyjściową każdego procesu badawczego jest sformułowanie przez badacza pewnego pytania lub zestawu pytań, na które odpowiedzi będą poszukiwane w trakcie badań³⁴. Tym samym pytanie to, traktowane, jako problem badawczy, wskazuje obszar jakiejś niewiedzy oraz konieczny zakres jej poznania. Ważne jest przy tym, aby postawione pytania faktycznie dotyczyły obszarów jeszcze niezbadanych, a nie luk w wiedzy badacza. Wszystkie pytania badawcze muszą się jednak odnosić do jakiegoś podmiotu, przedmiotu lub zjawisk pojmowanych łącznie z ich wzajemnymi relacjami i własnościami. W praktyce jednak, zadowalamy się zwykle terminem, który ogranicza się li tylko do podmiotu lub przedmiotu badań. I tak, w przypadku prognozowania będziemy więc mówić o przedmiocie lub podmiocie prognozowania.

Zapewnienie pełnej efektywności procesu prognostycznego jest możliwe tylko w przypadku posiadania wszystkich niezbędnych danych, wpływających na jej ostateczny kształt. W rzeczywistości takie sytuacje się nie zdarzają, gdyż jak wyjaśniono wcześniej, sytuacje probabilistyczne to sytuacje, które zawsze występują w warunkach ryzyka, a to oznacza, że posiadanie wszystkich potrzebnych informacji nie będzie nigdy możliwe. Z tego powodu nikt nie oczekuje od prognosty pełnej efektywności prognozy, a jedynie zawężenia obszaru naszej niewiedzy do akceptowalnego poziomu, pozwalającego na podjęcie właściwej decyzji. Nie oznacza to jednak, że każdy poziom wiarygodności prognozy będzie nas zadowalał, wręcz przeciwnie należy dążyć do tego, aby każda prognoza była przygotowana w sposób możliwie najpełniejszy i najbardziej wiarygodny, bo tylko wtedy jej przydatność będzie największa.

Aby to było możliwe trzeba jednoznacznie ustalić zarówno cel procesu prognostycznego, jak i przedmiot samej prognozy. Szczegółowe cele mogą być bardzo

34 Zob. S. Nowak, *Metodologia badań społecznych*, PWN, Warszawa 2011, s. 26.

różne, jednak w każdym przypadku będą one zmierzały do zmniejszenia niewiedzy decydentów w stosunku do pojawiających się zadań decyzyjnych (szczególnie tych z obszaru ryzyka) i w ten sposób będą pomagały w podejmowaniu trudnych decyzji. Z kolei przedmiot prognozowania nie zawsze jest tak oczywisty. Na ogół przyjmuje się, że jest to coś, co chcemy zbadać lub czego rozwój chcemy obserwować. Jak to jednak zrobić, zwłaszcza gdy w grę wchodzi przynajmniej kilka możliwości? Aby to sprecyzować warto przytoczyć jedną z wielu definicji prognozowania, według której jest nim – *oparte na podstawach naukowych przewidywanie przebiegu i stanu możliwych przyszłych zdarzeń (rzeczy, faktów, zjawisk)*³⁵. Z definicji wynika, że przedmiotem prognozowania mogą być rzeczy, fakty i zjawiska, które jak można się spodziewać będą występowały w bardzo różnych konfiguracjach. Na co więc należy zwrócić uwagę, na rzeczy, fakty, zjawiska, na wszystko razem, a może na jeszcze coś innego?

Jednoznaczna odpowiedź na tak sprecyzowane pytanie nie jest prosta, a w zasadzie można nawet uznać, że niemożliwa. O co jednak chodzi? Okazuje się, że do określenia przedmiotu prognozowania musimy znać jego cel, bo to on definiuje kierunek naszego rozumowania, wskazując przy tym, czym i w jakim zakresie będziemy się zajmować. To zaś oznacza, że przedmiot prognozowania jest ściśle związany z jego celem i jako taki musi być rozpatrywany łącznie.

Należy przy tym podkreślić, że trudności ze zdefiniowaniem przedmiotu prognozowania mogą skutkować niewłaściwością prognozy, słabą jej jakością, a w ostateczności jej nieprzydatnością w procesach decyzyjnych. W efekcie, prognoza nie dość, że nie pomoże w podjęciu właściwej decyzji, to znacznie ją utrudni lub nawet uniemożliwi.

W praktyce identyfikacja przedmiotu prognozowania jest zawsze punktem wyjścia, niezbędnym do określenia wymaganego zakresu informacji, potrzebnych do przygotowania dobrej prognozy. Informacje te mogą dotyczyć bardzo różnych rzeczy i zjawisk, jednak w każdym przypadku zostaną wykorzystane do przygotowania aktualnej diagnozy rozpatrywanych rzeczy (zjawisk), która następnie posłuży, jako punkt odniesienia do dalszych porównań i rozważań.

Do lepszego zrozumienia trudności, które napotykamy w procesach prognostycznych warto posłużyć się przykładem. Jednak, aby nasz tok rozważań pozostał w głównym nurcie książki do analizy przykładu wykorzystamy prognozowanie skażeń. Dla przypomnienia prognozowanie skażeń oznacza *przewidywanie przyszłego ich stanu oraz zjawisk im towarzyszących, poparte odpowiednim aparatem matematycznym, określające zależności przyczynowo-skutkowe zachodzących procesów, w bliskim horyzoncie czasowym*³⁶. Wydaje się, że skoro znamy definicję,

35 A Filasiewicz, *Prognoza, program...*, wyd. cyt., s. 18.

36 J. Solarz, *Prognozowanie skażeń...*, wyd. cyt., s. 7.

to łatwo określimy przedmiot prognozowania, ale czy tak jest w istocie? Okazuje się, że nie jest to tak jednoznaczne i z pewnością wymaga zastanowienia. Przede wszystkim, co wydaje się oczywiste, przedmiotem prognozowania są skażenia. Od razu jednak dostrzegamy, że istnieje przynajmniej kilka innych „przedmiotów”, które również możemy wyróżnić. Są to na przykład bezpośrednio wymienione: „zjawiska towarzyszące skażeniom”, „zachodzące procesy”, czy „aparatury matematyczne”. Z kolei to, co niewidoczne to choćby skutki skażeń oraz potrzeby i możliwości w zakresie ich unikania bądź ograniczania. Wszystkie te elementy zostaną szczegółowo rozpatrzone w dalszych rozdziałach, dlatego w tym miejscu ograniczymy się li tylko do wskazania i omówienia podstawowych zależności prowadzących do osiągnięcia ostatecznego celu prognozy. Jak już wspomniano, przedmiotem prognozowania skażeń są skażenia, a konkretnie, jak to ma miejsce podczas zagrożeń powodowanych bronią jądrową – skażenia promieniotwórcze. Powyższe twierdzenie wydaje się truizmem, dlatego teoretycznie rzecz biorąc nie powinno być żadnego problemu z określeniem wspomnianych zależności. Tak jednak nie jest, gdyż w rzeczywistości wszystkie uwarunkowania możemy ustalić dopiero wtedy, gdy precyzyjnie określimy cel naszej prognozy, który jak się okazuje może być bardzo różny.

W poprzednim rozdziale przedstawione zostały trzy rodzaje oceny sytuacji skażeń – przewidywana, prognozowana i rzeczywista. Wspomniano też, że każda z nich ma zdecydowanie odmienny charakter, który jest bezpośrednią konsekwencją celu, który zamierzamy osiągnąć. Każdy cel ogólny można z kolei traktować jako konglomerat celów pośrednich czy szczegółowych, które na pewnym etapie procesu prognostycznego trzeba zrealizować, aby osiągnąć cel ostateczny. Nie zawsze przy tym wiadomo, które cele będziemy realizować, a tym bardziej, w jakim zakresie, gdyż takie ustalenia zależą od woli i wiedzy decydenta. Zdaniem autora, przykładowy układ celów prognozowania skażeń promieniotwórczych, w odniesieniu do trzech rodzajów oceny sytuacji skażeń mógłby wyglądać tak, jak przedstawiono w tabeli 10.

Dane przedstawione w tabeli 10 skłaniają do wniosku, że niezależnie od rodzaju sytuacji prognostycznej prawie w każdym przypadku naszym zasadniczym celem będzie ochrona zdrowia i życia ludzi. Ta zaś będzie możliwa tylko wtedy, gdy nasze prognozy odnośnie skutków oddziaływania promieniowania będą terminowe i wiarygodne. Aby tak się stało, trzeba jak najszybciej doprowadzić do poznania zasięgu i rozkładu skażeń oraz ustalenia natężenia (mocy dawki) promieniowania. Z taką zaś wiedzą możemy już w miarę szczegółowo określić skutki napromienienia, na przykład korzystając z danych przedstawionych w tabeli 11.

Tabela 10

Cele prognozowania skażeń promieniotwórczych

Cel ogólny	Cel pośredni	Cel szczegółowy	Cel ostateczny
SYTUACJA PRZEWIDYWANA Przygotowanie do przyszłych działań	<ul style="list-style-type: none"> - określenie podatności obiektów na BMR; - uświadomienie decydom skali zagrożenia oraz wskazanie najbardziej zagrożonych obiektów 	<ul style="list-style-type: none"> - ocena możliwości ochrony; - przygotowanie działań zabezpieczających; - uświadomienie i przygotowanie ludności 	ograniczenie przyszłych strat w ludziach, mieniu i sprzęcie
SYTUACJA PROGNOZOWANA Ostrzeganie wojsk i ludności cywilnej	<ul style="list-style-type: none"> - uniknięcie skażenia wojsk i ludności; - podjęcie działań zapobiegawczych 	<ul style="list-style-type: none"> - uniknięcie napromienienia wojsk i ludności cywilnej; - ograniczenie narażenia na promieniowanie 	zachowanie zdrowia i życia wojsk oraz ludności cywilnej
SYTUACJA RZECZYWISTA Wykonanie zadań w terenie skażonym	<ul style="list-style-type: none"> - określenie dopuszczalnego czasu przebywania; - określenie dopuszczalnego czasu wejścia lub wyjścia; - określenie optymalnego czasu przekraczania 	<ul style="list-style-type: none"> - ograniczenie wielkości napromienienia wojsk przebywających w terenie skażonym 	ochrona zdrowia i życia wojsk podczas wykonywania zadań w terenie skażonym

Tabela 11

Biologiczne efekty promieniowania

Dawka promieniowania (cGy)	Czas i podstawowe objawy	Obniżenie wydajności, skutki	Opieka medyczna, diagnoza
0-70	Od 6 do 12 godzin: przemijający ból głowy i nudności, wymioty u 5% żołnierzy (w górnym zakresie dawki)	zdolność bojowa zachowana	żadna, powrót do służby
71-150	Od 2 do 20 godzin: przemijające łagodne nudności i wymioty u 5-30% żołnierzy	zdolność bojowa zachowana	żadna, powrót do służby
151-300	Od 2 godzin do 2 dni: przemijające, umiarkowane nudności i wymioty u 20-70% żołnierzy, omdlenia i osłabienie 25-60% żołnierzy	DT: PD od 4 godzin do wyzdrowienia; UT: PD od 6 godzin do 1 dnia, 6 tygodni do wyzdrowienia	w ciągu 3-5 tygodni: opieka medyczna dla 10-50%; w dolnym zakresie <5% przypadków śmiertelnych, w górnym do 10%; reszta wróci do służby

Dawka promieniowania (cGy)	Czas i podstawowe objawy	Obniżenie wydajności, skutki	Opieka medyczna, diagnoza
301–500	od 2 godzin do 3 dni: przemijające, umiarkowane nudności i wymioty u 50–90% żołnierzy, omdlenia i osłabienie 50–90% żołnierzy (w górnym zakresie)	DT: PD od 3 godzin do śmierci lub wyzdrowienia; UT: PD od 4 godzin do 2 dni i od 2 tygodni do śmierci lub wyzdrowienia	w ciągu 2–5 tygodni: opieka medyczna dla 20–60%; w dolnym zakresie <10% przypadków śmiertelnych, w górnym do 50%; reszta wróci do służby
501–800	w przeciągu pierwszych godzin umiarkowane i poważne nudności, wymioty i omdlenia u 80–100% żołnierzy	DT: PD od 1 godziny do 3 tygodni; CI od 3 tygodni do śmierci UT: PD od 2 godzin do 2 dni i od 7 dni do 4 tygodni; CI od 4 tygodni do śmierci	w ciągu 10 dni do 5 tygodni: opieka medyczna dla 50–100%; w dolnym zakresie >50% przypadków śmiertelnych w ciągu 6 tygodni, w górnym 90% w ciągu 3–5 tygodni
801–3000	w przeciągu pierwszych 3 minut poważne nudności, wymioty, omdlenia, zawroty głowy, ból głowy i zapaść	DT: PD od 45 minut do 3 godzin; CI od 3 godzin do śmierci UT: PD od 1–7 godzin; CI od 7 godzin do 1 dnia; PD od 1–4 dni; CI od 4 dni do śmierci	opieka medyczna od 3 minut do śmierci; 1000 cGy – 100% śmiertelności w ciągu 2–3 tygodni; 3000 cGy – 100% śmiertelności w ciągu 5–10 dni
3001–8000	w przeciągu pierwszych 3 minut poważne nudności, wymioty, omdlenia, zawroty głowy, ból głowy i zapaść	DT: CI od 3–35 min, PD od 35–70 minut CI od 70 min do śmierci UT: CI od 3–20 min, PD od 20–80 minut CI od 80 min do śmierci	opieka medyczna od 3 minut do śmierci; 4500 cGy – 100% śmiertelności w ciągu 2–3 dni
>8000	w czasie pierwszych 3 minut poważne i przedłużające się nudności, wymioty, omdlenia, zawroty i ból głowy, dezorientacja, brak równowagi płynów i zapaść	DT i UT: CI od 3 min do śmierci	opieka medyczna potrzebna natychmiast; 8000 cGy – 100% śmiertelności w ciągu 1 dnia

Legenda:

CI – Combat Ineffective (niezdolny do zadań < 25% normalnej wydajności);

PD – Performance degraded (obniżona wydajność 25–75% normalnej);

DT – Demanding task (zadania wymagające wysiłku fizycznego);

UT – Undemanding task (zadania nie wymagające wysiłku fizycznego).

Źródło: *Nuclear, biological and chemical (NBC) vulnerability analysis*, Department of the Army, Washington 1997, appendix F.

METODYKA PROGNOZOWANIA OPADU PROMIENIOTWÓRCZEGO

3.1. Skażenia promieniotwórcze

Skażenie to popularny termin¹, który bardzo rzadko występuje samodzielnie głównie, dlatego iż jego charakter musi być określony przez konkretny czynnik skażający. Dla przykładu w definicji skażenia środowiska przyjęto, iż jest to *przedostanie się do środowiska naturalnego (atmosfery, wód, gleby, żywności, przedmiotów) substancji toksycznych lub substancji promieniotwórczych stanowiących zagrożenie dla zdrowia i życia roślin, zwierząt i człowieka*².

Mówiąc ogólnie można przyjąć, że skażenie to niepożądana obecność, szkodliwej substancji w danym miejscu³. Stosownie do tego mówimy o różnych rodzajach i formach skażenia na przykład: o skażeniu wody – ropą lub bakteriami, roślin i żywności – ciężkimi metalami, powietrza – pyłami i szkodliwymi gazami, gleby – siarką, ołowiem, manganem itp. Liczba możliwych form skażenia jest ogromna, a przez to trudna do prostego wyliczenia. Mimo to, można zauważyć, że w każdym przypadku szkodliwa substancja, której obecność jest źródłem skażenia, będzie należeć do jednej z trzech grup materiałów. Będą to albo substancje chemiczne, materiały promieniotwórcze albo czynniki biologiczne. I tylko te trzy grupy środków mogą o tym stanowić, co ostatecznie decyduje, że wyróżniamy wyłącznie skażenia chemiczne, biologiczne lub promieniotwórcze, choć nie jest to do końca jednoznaczne⁴.

1 Termin pochodzi od *contamination* (ang.), który może oznaczać zarówno skażenie, jak i zanieczyszczenie.

2 Z. Otałęga (red.), *Encyklopedia biologiczna*, tom X, Agencja Publicystyczno-Wydawnicza Opres, Kraków 2000, s. 18.

3 Także na ludziach i zwierzętach, o czym zapomniano w przytoczonej definicji.

4 Z drugiej strony wiemy, że wszystkie substancje znane człowiekowi są zbudowane z atomów, które występując w odpowiednich konfiguracjach tworzą pierwiastki i różnorodne związki chemiczne. Tym samym możemy uznać, że wszelkie istniejące substancje są „chemiczne”, a tylko w niektórych przypadkach „zapominamy” o ich chemicznym rodowodzie, zwracając uwagę li tylko na ich dodatkowe właściwości, tak jak to ma miejsce w przypadku materiałów biologicznych lub promieniotwórczych.

Wiadomo jednak, że szkodliwość poszczególnych środków może być bardzo różna, toteż w większości przypadków, skażenie jest terminem kojarzonym przede wszystkim ze skutkami broni masowego rażenia (BMR), w której skażenia są bezpośrednią pochodną użycia broni jądrowej, radiologicznej, chemicznej i biologicznej lub uwolnienia toksycznych środków przemysłowych. Wszystkie rodzaje skażeń z pewnością stanowią ciekawy temat do rozważań, jednak ze względu na ograniczenia przyjęte w pracy zajmiemy się wyłącznie skażeniami promieniotwórczymi. Biorąc pod uwagę militarny rodowód skażeń definiowanie skażeń promieniotwórczych warto zacząć od źródeł wojskowych.

Zgodnie z tym **skażenie promieniotwórcze** to *zanieczyszczenie terenu, wody, powietrza, a także powierzchni przedmiotów substancjami promieniotwórczymi*⁵. Źródłem takich skażeń mogą być wybuchy jądrowe, użycie broni radiologicznej, awarie techniki jądrowej oraz uwolnienie substancji promieniotwórczych z urządzeń i instalacji naukowych, medycznych lub przemysłowych.

Znajomość źródeł skażenia promieniotwórczego niewiele nam jednak daje, gdyż nie odnosi się do ich natury i sposobu postrzegania. Powszechnie bowiem wiadomo, że substancje promieniotwórcze w sposób naturalny występują zarówno w skorupie ziemskiej, jak i w przestrzeni kosmicznej. Tym samym, od milionów lat, wciąż towarzyszą wszelkim organizmom żywym, w tym i człowiekowi. Powstaje więc pytanie, kiedy rzeczywiście można mówić o skażeniu promieniotwórczym i co o tym decyduje?

Aby na nie odpowiedzieć trzeba naszą definicję nieco zmodyfikować. Posłużymy się więc definicją zaczerpniętą z ustawy *Prawo atomowe*, według której *skażenie promieniotwórcze to skażenie przedmiotów, pomieszczeń, środowiska lub osób przez niepożądaną obecność substancji promieniotwórczych...* Kluczowym elementem tej definicji są słowa „niepożądana obecność”, które oznaczają, że obecność substancji promieniotwórczych nie jest typowa czy powszechnie akceptowana. Jest to coś dodatkowego, czego wcześniej nie było i co w znacznej mierze przekracza dopuszczalne normy. O jakie jednak normy chodzi?

Okazuje się, że promieniowanie, które towarzyszy człowiekowi od lat zachowuje pewien poziom, który nazwano naturalnym tłem promieniowania⁶. Stąd w kolejnej definicji mówimy o *obecności substancji promieniotwórczych (radionuklidów) na powierzchni lub wewnątrz przedmiotów (organizmów żywych) w ilościach przekraczających poziom naturalny*⁷. W efekcie o skażeniu promieniotwórczym będziemy

5 *Mała encyklopedia wojskowa*, tom 3, MON, Warszawa 1971, s. 156.

6 Poziom tła także się zmienia, jednak szybkość tych zmian, z naszego punktu widzenia, jest prawie niezauważalna.

7 *Encyklopedia wojskowa*, tom 2, Bellona, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007, s. 306.

mówili, gdy nastąpi znaczny wzrost aktywności promieniotwórczej przedmiotów, organizmów żywych, budynków i innych elementów emitujących promieniowanie jonizujące, powyżej naturalnego tła promieniowania.

Cyklicznie prowadzone pomiary pozwoliły ustalić, iż aktualna średnioroczna dawka promieniowania, pochodzącego ze źródeł naturalnych w Polsce wynosi około 2,6 mSv/rok. Oznacza to, iż statystyczny mieszkaniec naszego kraju otrzymuje w ciągu roku właśnie taką dawkę promieniowania. Czy to dużo czy mało? Jeśli porównamy inne kraje to zauważymy, że rozrzut jest znaczny. Na przykład na Filipinach naturalne tło promieniowania wynosi tylko 0,3 mSv/rok, czyli dziewięć razy mniej niż w Polsce! Z drugiej strony są kraje, gdzie tło osiąga wartości 5–8 mSv/rok, na przykład Finlandia, Francja, Hiszpania, a w niektórych miejscach nawet kilkaset mSv/rok (Ramsar – Iran, Guarapari – Brazylia). Trzeba także dodać, że w każdym kraju mogą występować dość znaczne wahania tła, które spowodowane są niejednorodną zawartością radonu w glebie.

Z przedstawionych danych wynika, że każdy człowiek, niezależnie od tego gdzie mieszka otoczony jest promieniowaniem. Mimo to, nawet w krajach o najwyższym tle naturalnego promieniowania nie mówimy o skażeniu, gdyż wartość ewentualnych dawek musiałaby być znacznie wyższa. Ustalono więc, że dawki promieniowania pochłaniane przez człowieka, w następstwie oddziaływania naturalnego tła promieniowania, nie stanowią żadnego zagrożenia. Co się jednak dzieje, gdy w otoczeniu człowieka pojawią się sztuczne źródła promieniowania? Okazuje się, że wszystko zależy od rodzaju źródła oraz sposobu narażenia. Biorąc pod uwagę te zależności możemy wyróżnić trzy grupy zagrożeń.

Pierwsza dotyczy normalnej, a przede wszystkim niezakłóconej eksploatacji zakładów i instytucji wykorzystujących źródła promieniowania. Wszystkie takie źródła wykorzystywane są według rygorystycznych norm przechowywania, ewidencji oraz eksploatacji, co w wystarczającym stopniu ogranicza możliwość nadmiernego narażenia pracowników oraz ludności postronnej. Druga grupa zagrożeń to tzw. zdarzenia radiacyjne, omówiono we wcześniejszym rozdziale. Jeżeli do nich dojdzie, wówczas zagrożenie może być znacznie większe (np. Czarnobyl, Fukushima), jednak liczne i bardzo drobiazgowo procedury bezpieczeństwa powinny temu zapobiec, a jeśli jest to niemożliwe znacznie je ograniczyć. W rzeczywistości poważne zdarzenia tego typu pojawiają się bardzo sporadycznie, a procedury bezpieczeństwa są nieustannie doskonalone.

Ostatnia grupa zagrożeń ma zdecydowanie inny charakter, gdyż wynika z zamierzonego użycia broni jądrowej lub radiologicznej. Niewielkie możliwości i skutki użycia broni radiologicznej zostały już wcześniej omówione, dlatego przeniesiemy je do grupy zdarzeń radiacyjnych. Pozostaje jednak broń jądrowa, której czynniki rażenia są zagrożeniem, którego nie da się porównać z niczym innym. Ciekawy jest jednak fakt, że poszczególne czynniki rażenia różnią się od siebie

dość mocno, ale mają też cechy wspólne. Wśród tych drugich szczególnie istotne są czas oraz zasięg ich oddziaływania. Pomijając impuls elektromagnetyczny, którego oddziaływanie jest dość specyficzne i nie zawsze jednakowe, pozostałe czynniki rażenia można podzielić na te, które działają krótko i na niewielkim obszarze oraz jeden czynnik rzutuujący na bardzo rozległy teren i to przez długi czas. Pierwsze trzy czynniki, czyli fala uderzeniowa, promieniowanie ciepłe i przenikliwe występują w czasie od kilku do kilkudziesięciu sekund, a ich obszar oddziaływania waha się w granicach kilkuset metrów do kilkunastu kilometrów. Zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja, gdy pod uwagę weźmiemy promieniotwórcze skażenie terenu, które może wystąpić nawet na obszarze tysięcy kilometrów kwadratowych i to przez wiele dni, a nawet tygodni⁸.

3.2. Opad promieniotwórczy

3.2.1. Źródła i charakter opadu promieniotwórczego

Po eksplozji jądrowej skażony zostaje nie tylko rejon wybuchu, lecz również obszar odległy o dziesiątki a czasem setki kilometrów. Powstają w ten sposób rozległe skażenia, które mogą stanowić na dłuższy czas zagrożenie dla wojsk i ludności cywilnej. W nomenklaturze zachodniej promieniotwórcze skażenie terenu nosi nazwę „*promieniowania resztkowego*” (*residual radiation*). Spowodowane jest to faktem, iż ten rodzaj promieniowania jest emitowany dopiero po minucie od wybuchu i stanowi jakby „uzupełnienie” promieniowania, które wystąpiło wcześniej. Pomimo rozbieżności w nazwie jest to jednak ten sam czynnik rażenia wybuchu jądrowego, który materializuje się w postaci opadu radioaktywnego (*fallout*).

Definicje opadu promieniotwórczego, które można znaleźć w licznych piśmiennictwie nie różnią się zbyt wiele, dlatego zrezygnowano z kolejnego ich przytaczania, pozostając tylko przy jednej, traktowanej jako przykład. Według T. Wardaszko opad promieniotwórczy oznacza *wytworzone w wyniku procesów jądrowych drobnodispersyjne substancje stałe, wykazujące radioaktywność, istniejące w powietrzu lub osadzone na drodze grawitacyjnej lub dyfuzyjnej na powierzchni ziemi, względnie na przedmiotach*⁹.

8 Także czas powstawania skażenia nie jest krótki, gdyż w zależności od mocy wybuchu opadanie pyłu promieniotwórczego z obłoku trwa przez wiele godzin.

9 T. Wardaszko, *Powstawanie i własności pyłu promieniotwórczego* [w:] *Zagrożenia radiacyjne ludności w czasie wojny jądrowej*, część I, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, CLOR-90/I/D, Warszawa 1972, s. 41–42.

Aktualnie uważa się, że opad promieniotwórczy ma trzy źródła, którymi są: produkty rozszczepienia ładunku jądrowego; niewykorzystana część ładunku rozszczepialnego oraz promieniotwórczość wzbudzona przez promieniowanie neutronowe. Panuje przy tym zgodność, że zasadniczym źródłem opadu promieniotwórczego są fragmenty rozszczepienia jąder uranu lub plutonu, które mogą występować w bardzo różnych konfiguracjach. Ocenia się, że po rozszczepieniu powstaje mieszanina około 300 izotopów 36 pierwiastków, z czego większość jest promieniotwórcza¹⁰. Rozszczepienie jąder uranu lub plutonu na równe części jest bardzo rzadkie, gdyż zazwyczaj powstają pierwiastki, których liczby masowe pozostają do siebie w stosunku jak 2 do 3¹¹. Powstałe w wyniku tych reakcji izotopy promieniotwórcze ulegają kolejnym przemianom tworząc następne izotopy, które również mogą być promieniotwórcze.

Wagowo ilość powstających substancji nie jest duża, gdyż wynosi tylko około 60 g na jedną kilotonę mocy wybuchu. Inaczej jest z ich aktywnością promieniotwórczą, która zaraz po wybuchu jest bardzo duża. Po godzinie od wybuchu największy wkład do aktywności pyłu promieniotwórczego wnoszą izotopy: kryptonu, strontu, rubidu, molibdenu, telluru, itru, baru, cezu, ksenonu, samaru, europu, prometu, neodymu, ceru i prazeodymu¹², a dalszy upływ czasu powoduje gwałtowne zmniejszanie aktywności.

Następne źródło opadu promieniotwórczego to nierozszczepiona część paliwa jądrowego, a konkretnie atomy uranu lub plutonu, które nie zdążyły wziąć udziału w reakcji rozszczepienia. W rzeczywistości podczas wybuchu jądrowego rozszczepieniu ulega tylko niewielka część ładunku, w zależności od konstrukcji bomby i współczynnika wykorzystania paliwa jądrowego. Pozostałość odparowuje, rozpryska się w obłoku wybuchu i wraz z produktami rozszczepienia tworzy opad promieniotwórczy. Aktywność nierozszczepionej części paliwa jądrowego nie jest zbyt duża, gdyż zarówno uran, jak i pluton mają bardzo długie okresy półrozpadu. To zaś powoduje, że tego typu skażenie nie stanowi większego zagrożenia.

Trzecie i ostatnie źródło skażeń promieniotwórczych to promieniotwórczość wzbudzona (*Neutron – Induced Gamma Activity – NIGA*). Jej źródłem jest oddziaływanie neutronów, które nie wzięły udziału w reakcji łańcuchowej i trafiły na jądra atomów różnych pierwiastków znajdujących się w otoczeniu, na przykład w kadłubie bomby, ziemi, wodzie i innych przedmiotach. W efekcie, po wychwycie neutronów, powstają nowe izotopy, które mogą być promieniotwórcze. Największa ilość nowych izotopów powstaje na skutek przechwycenia neutronów

10 S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, third edition, U.S. Government Printing Office, Washington 1977, s. 390.

11 Najczęściej powstającymi pierwiastkami są te o liczbach masowych zbliżonych do 96 i 140.

12 A. Iwanow, G. Rybkin, wyd. cyt., s. 242.

przez różne pierwiastki znajdujące się w glebie pod miejscem wybuchu. W wyniku tego, pierwiastki tam zawarte stają się promieniotwórcze, emitując przez dłuższy czas cząstki beta i promieniowanie gamma. Obszar najsilniejszych skażeń wtórnych będzie występował zawsze wokół punktu zerowego (GZ), przy czym można zaobserwować zależność, według której wielkość skażeń rośnie wprost proporcjonalnie do mocy wybuchu i odwrotnie proporcjonalnie do jego wysokości. W przypadku aktywacji gleby powstaje wiele radioizotopów, jednak realne znaczenie mają izotopy: sodu, manganu, krzemu, żelaza i glinu, natomiast w wyniku oddziaływania neutronów na elementy konstrukcyjne ładunku jądrowego powstają radionuklidy: kobaltu, żelaza, manganu, cynku, itru i wolframu. W sytuacjach, gdy mamy do czynienia z ładunkami jądrowymi z płaszczem uranowym, podczas aktywacji neutronowej dodatkowo mogą powstawać różne aktynowce, np.: uran-237, neptun-239 lub pluton-239.

Reasumując wątek źródeł opadu promieniotwórczego można uznać, że zasadnicza część aktywności substancji promieniotwórczych wytworzonych wskutek wybuchu jądrowego będzie pochodzić od produktów rozszczepienia. To one występują najliczniej, a przy okazji mają największą aktywność. Jednak w niektórych sytuacjach, aktywacja neutronami może mieć większe znaczenie, zwłaszcza w bliskim sąsiedztwie punktu zerowego wybuchu (do 300 metrów). Aktywność pochodząca od nierozszczepionego paliwa jądrowego jest najmniej istotna.

Przykładowe porównanie aktywności radionuklidów, pochodzących z różnych źródeł opadu promieniotwórczego przedstawiono w tabeli 12.

Tabela 12

Aktywność substancji promieniotwórczych z poszczególnych źródeł

Źródło promieniowania	Aktywność po wybuchu w TBq		
	po 1 dobie	po 7 dobach	po 50 dobach
Produkty rozszczepienia	1,48 x 10 ⁸	1,48 x 10 ⁷	1,48 x 10 ⁶
Produkty aktywacji neutronowej			
– w skorupie ziemskiej	3,7 x 10 ⁶	1,4 x 10 ⁶	3,7 x 10 ⁴
– w wodzie słodkiej	3,7 x 10 ³	3,7	3,7
– w wodzie morskiej	3,7 x 10 ⁵	3,7 x 10 ³	7,2 x 10 ³
– w powietrzu	3,7 x 10 ³	3,7 x 10 ²	7,2 x 10 ²
U-237 (powstały z U-238)	7,2 x 10 ⁶	3,7 x 10 ⁶	2,2 x 10 ⁴
Nierozszczepiony Pu-239 dla mocy 20 kt	w momencie wybuchu – 74 TBq		

UWAGA: Dane dla ładunku jądrowego typu R-S-R o mocy 1 Mt.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Z. Bałtrukiewicz, *Wybrane zagadnienia sanitarno-medyczne ochrony radiologicznej*, Warszawa 1978, s. 51.

Obłok promieniotwórczy pod wpływem silnych prądów wstępujących spowodowanych wysoką temperaturą unosi się w ciągu kilku minut do wyższych warstw atmosfery i osiąga maksymalną wysokość zależną od mocy i rodzaju wybuchu, warunków meteorologicznych (rozkładu temperatury powietrza po wysokości, obecności warstw inwersji itp.), współrzędnych punktu zerowego, pory roku oraz od innych czynników¹³. Podczas wybuchów powietrznych obłok promieniotwórczy wznosi się na jeszcze większe wysokości, co powoduje, że skażenie w rejonie wybuchu jądrowego ma miejsce tylko w przypadku niskich wybuchów powietrznych. To zaś oznacza, że na trasie przemieszczania obłoku nie powstają skażenia terenu. Fakt ten jest spowodowany tym, iż pył promieniotwórczy jest rozproszony na bardzo dużej powierzchni, co w rezultacie powoduje, że stopień skażenia nie przekracza dopuszczalnej normy i praktycznie nie przedstawia zagrożenia dla ludności. W lecie wysokość wzniesienia obłoku bywa wyższa niż zimą. Różnica może wynosić 2–3 km, a niekiedy i więcej. Przy wybuchach o mocach powyżej 100 kt obłok może przebić warstwę tropopauzy i wówczas część pyłu promieniotwórczego przeniknie do stratosfery. Po osiągnięciu maksymalnej wysokości dalsze przemieszczanie obłoku odbywa się w zasadzie w płaszczyźnie poziomej. Jest ono spowodowane ruchem powietrza, który może być bardzo różny na poszczególnych wysokościach. Kierunek i prędkość przemieszczania się obłoku są równe odpowiednim parametrom wiatru, odnoszącym się do warstwy atmosfery położonej w przedziale wysokości od dolnej do górnej granicy obłoku. Zmiany kierunku i prędkości wiatru występujące w rozpatrywanej warstwie atmosfery w czasie i w przestrzeni powodują rozproszenie i deformację obłoku promieniotwórczego, w wyniku czego jego kształt początkowo zbliżony do kulistego, zaczyna z czasem coraz bardziej odbiegać od prawidłowej formy geometrycznej. Przy dużych zmianach wiatru może nawet nastąpić rozerwanie obłoku promieniotwórczego na kilka części.

Każdy wybuch jądrowy emituje do otoczenia radioaktywny materiał, który w zależności od wcześniej przedstawionych uwarunkowań może stanowić mniejsze lub większe zagrożenie. Nie ulega przy tym wątpliwości, że największe zagrożenie dla ludności niosą za sobą wybuchy naziemne (nawodne), czyli takie, w których kula ognista styka się z ziemią. Podobne skażenia mogą też generować płytkie wybuchy podziemne lub podwodne, choć zwykle w bardziej ograniczonym zakresie. W przypadku wybuchów powietrznych lub głębokich podziemnych materiał promieniotwórczy także powstaje, jednak jego oddziaływanie na powierzchnię ziemi jest bardzo znikome. Z tego też względu w rozważaniach związanych z powstawaniem i oddziaływaniem skażeń promieniotwórczych ana-

13 Według ATP-45D dla ładunku o mocy 10 kt górna granica obłoku wynosi około 9,5 km, a dla 10 Mt – około 33 km.

lizuje się przede wszystkim wybuchy naziemne lub nawodne. Mimo to należy pamiętać, że skażenia atmosfery powstające podczas wybuchów powietrznych mogą mieć negatywny wpływ na działanie lotnictwa, zwłaszcza w pierwszym okresie po wybuchu¹⁴.

Wspomniane wyżej wątpliwości powodują, że podczas rozważania skutków wybuchów jądrowych jedną z bardziej istotnych kwestii jest określenie ich wysokości. I nie chodzi przy tym o ich wysokość w metrach, tylko o ustalenie czy jest to wybuch naziemny czy powietrzny. Co to jednak oznacza? Okazuje się, że wybuch o mocy 5 kt wykonany na wysokości 200 metrów może być wybuchem powietrznym, natomiast wybuch wykonany znacznie wyżej – 700 metrów, lecz o mocy 10 Mt z pewnością jest wybuchem naziemnym. Ta pozorna dysproporcja wynika z tego, iż kula ognista wybuchu o dużej mocy ma znacznie większe rozmiary i jako taka może stykać się z ziemią. Odwrotna sytuacja ma miejsce w przypadku wybuchów małej mocy, których kula ognista jest niewielka, a jej oddziaływanie ma mały zasięg i zwykle nie osiąga poziomu ziemi. Do właściwego określenia relacji związanych z wysokością wybuchu wprowadzona została tzw. *zredukowana wysokość wybuchu*. Jest to umowna, niemianowana wielkość liczbowa, która uwzględnia zarówno wysokość wybuchu jądrowego w metrach, jak i jego moc w tonach. Wartości zredukowanej wysokości wybuchu wyliczone według poniższego wzoru przedstawiono w tabeli 13.

$$X = \frac{H}{\sqrt[3]{q}}$$

gdzie:

X – zredukowana wysokość wybuchu;

H – wysokość wybuchu w metrach;

q – moc wybuchu w tonach.

Materiał promieniotwórczy wytworzony podczas wybuchu jądrowego unosi się wraz z obłokiem promieniotwórczym, a następnie przemieszcza się zgodnie z kierunkiem wiatru. Po jakimś czasie, zależnym głównie od mocy i rodzaju wybuchu, następuje wypadanie cząstek promieniotwórczych, które opadając na ziemię, tworzą pas terenu skażonego, zwany śladem obłoku promieniotwórczego. Znając parametry takiego opadu jesteśmy w stanie określić przybliżony rozkład i charakter powstających skażeń, które jak się okazuje, można podzielić na ściśle określone strefy. W zależności od użytej metody prognozowania strefy te mogą przybierać różny kształt i przedstawiać różne zależności, jednak w każdym przypadku pozwalają na lepsze lub gorsze określenie zagrożenia i podjęcie stosownych

14 Pozostałe czynniki rażenia broni jądrowej też będą źródłem problemów, a zwłaszcza impuls elektromagnetyczny.

do tego decyzji. Zanim przejdziemy do charakterystyki wybranych metod prognozowania skażeń trzeba zwrócić uwagę na jeszcze jeden wątek, jakim jest podział opadu radioaktywnego. Okazuje się bowiem, że opad radioaktywny nie jest jednorodny i zachodzi w bardzo różnym czasie. W ten sposób może przyjmować różne rozmiary i charakter, zależne od mocy, rodzaju i miejsca wybuchu oraz warunków atmosferycznych:

a) opad bezpośredniego zasięgu – osiadanie ciężkich cząstek w ciągu pół godziny od wybuchu, mające miejsce głównie w obszarze dotkniętym fizycznymi zniszczeniami;

Tabela 13

Zredukowana wysokość wybuchu jądrowego

Moc wybuchu (kt)	Wysokość wybuchu nad powierzchnią ziemi (m)													
	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
0,01	11,6													
0,02	9,2	18,4												
0,05	6,8	13,6												
0,1	5,4	10,8												
0,2	4,3	8,6	17,1											
0,5	3,2	6,3	12,6											
1	2,5	5	10	20										
2	2	4	7,9	15,9										
5	1,5	2,9	5,8	11,7	17,5									
10	1,2	2,3	4,6	9,3	13,9	18,5								
20	0,9	1,8	3,7	7,4	11	14,7	18,4							
50	0,7	1,4	2,7	5,4	8,1	10,9	13,6	16,3	19					
100	0,5	1,1	2,2	4,3	6,5	8,6	10,8	12,9	15,1	17,2	19,4			
200	0,4	0,8	1,7	3,4	5,1	6,8	8,6	10,3	12	13,7	15,4	17,1		
500	0,3	0,6	1,3	2,5	3,8	5	6,3	7,6	8,8	10,1	11,3	12,6	18,9	
1 000	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
2 000	0,2	0,4	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,1	7,9	11,9	15,9
5 000	0,15	0,3	0,6	1,2	1,8	2,3	2,9	3,5	4,1	4,7	5,3	5,8	8,8	11,7
10 000	0,1	0,2	0,5	0,9	1,4	1,9	2,3	2,8	3,2	3,7	4,2	4,6	7	9,3

UWAGA: Wybuchy wykonane na zredukowanej wysokości mniejszej od $3,5 \text{ m/t}^{1/3}$ określa się jako naziemne, na wysokości od $3,5\text{--}10 \text{ m/t}^{1/3}$ jako niskie powietrzne, powyżej $10 \text{ m/t}^{1/3}$ jako wysokie powietrzne. Do obliczeń praktycznych przyjmuje się wybuch naziemny – $0 \text{ m/t}^{1/3}$, wybuch niski powietrzny $7 \text{ m/t}^{1/3}$, wybuch wysoki powietrzny 12 lub $20 \text{ m/t}^{1/3}$.

Źródło: J. Solarz, *Ocena sytuacji skażeń w atmosferze po uderzeniach jądrowych*, AON, Warszawa 2003.

b) opad średniego zasięgu – cząstki, które osiadają w okresie od pół godziny do dwudziestu godzin po wybuchu jądrowym na obszarze o zasięgu do kilkuset kilometrów od miejsca wybuchu;

c) opad dalekiego zasięgu – wolne wypadanie z atmosfery bardzo małych cząsteczek, które mogą unosić się nawet przez wiele miesięcy czy lat, szczególnie po wybuchach termojądrowych bardzo dużej mocy. Rozprzestrzeniają się i w końcu osiadają na powierzchni ziemi na bardzo dużym obszarze¹⁵.

Biorąc pod uwagę wymienione rodzaje opadu radioaktywnego może powstać wątpliwość jak należy je interpretować, a zwłaszcza, które z nich rozpatrywać. Wydaje się, że najprościej byłoby, gdybyśmy zajmowali się wszystkimi trzema. Ale czy tak jest w istocie, czy rzeczywiście jest to potrzebne? Aby odpowiedzieć na to pytanie warto wrócić do opisu poszczególnych rodzajów opadu, próbując ustalić, który z nich ma największe znaczenie¹⁶. Opad bezpośredniego zasięgu ma miejsce w obszarze bezpośrednich zniszczeń, spowodowanych oddziaływaniem fali uderzeniowej, promieniowania ciepłego i przenikliwego. To powoduje, że ewentualne problemy wywołane opadem radioaktywnym, w porównaniu z innymi czynnikami rażenia, nie mają żadnego racjonalnego znaczenia. Dla odmiany opad dalekiego zasięgu następuje bardzo wolno, a w dodatku w sposób bardzo rozproszony, co w zasadzie uniemożliwia pochłonięcie takich dawek promieniowania, które miałyby jakiegokolwiek znaczenie taktyczne.

W efekcie jedyne rzeczywiste zagrożenie stanowić będzie opad promieniotwórczy średniego zasięgu, którego charakteryzuje: stosunkowo krótki czas wypadania pyłów, bardzo duża intensywność promieniowania oraz zasięg oddziaływania przekraczający często kilkaset kilometrów kwadratowych. Z tego powodu opad średniego zasięgu stanowi bardzo poważne, a często śmiertelne zagrożenie dla wojsk i ludności cywilnej. To zaś oznacza, że w trakcie działań bojowych należy zrobić wszystko, aby uniknąć skażenia opadem, a jeśli to niemożliwe maksymalnie je ograniczyć. Do tego celu bardzo przydatne może być wykorzystanie odpowiednich metod prognozowania skażeń, które posłużą do opracowania prognozowanej sytuacji skażeń. Powstają jednak pytania – czy w ogóle są takie metody, które z nich są „odpowiednie”, a przede wszystkim, na jakich parametrach (wskaźnikach ryzyka) powinny bazować, aby były wiarygodne?

15 Zob. J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, AON, Warszawa 2006, s. 43–45.

16 Dla porównania w literaturze rosyjskiej wyróżniamy opad lokalny, gdy czas wypadania mieści się w granicach 20 minut – 24 h po wybuchu, opad kontynentalny (troposferyczny), gdy wypadanie następuje 2–3 tygodnie po wybuchu oraz globalny (stratosferyczny), jeśli opad nastąpi 5–7 lat po wybuchu.

3.2.2. Wskaźniki ryzyka promieniotwórczego

Świadome wykorzystanie wszelkich „metod” oznacza zastosowanie odpowiednich reguł postępowania, które przy uwzględnieniu ściśle określonych warunków prowadzą do uzyskania jednoznacznych i powtarzalnych wyników. Takie podejście stanowi więc gwarancję osiągnięcia założonych celów, pod warunkiem że wszystkie założenia zostały prawidłowo określone, posiadamy odpowiednie dane wejściowe, a sposób postępowania był zgodny z odpowiednią „metodą”. W przypadku metod prognozowania skażeń celem, do którego należy dążyć jest jak najwierniejsze odwzorowanie obrazu sytuacji skażeń, która powstanie po wykonaniu uderzeń jądrowych.

Jak już wcześniej wspomniano, opracowując „prognozowaną sytuację skażeń” dążymy do ustalenia parametrów sytuacji skażeń, która wystąpi już po wykonaniu uderzeń jądrowych. To powoduje, że dysponujemy pewnym zakresem informacji, takich jak czas, rodzaj i miejsce uderzenia, parametry obłoku promieniotwórczego oraz moc wybuchu, a także dane o aktualnych warunkach terenowych i meteorologicznych. Wszystkie te informacje, traktowane jako *zmiennie wejściowe* są niezwykle przydatne do prognozowania. Panuje przy tym zasada, że im więcej informacji posiadamy, tym lepszą prognozę otrzymamy.

Zmiennie wejściowe są następnie przetwarzane zgodnie z matematycznymi procedurami danej metody prognozowania skażeń, jednak niezależnie od przyjętej metody część zmiennych ma charakter stochastyczny (zwłaszcza parametry wiatru), co w efekcie determinuje probabilistyczny charakter końcowej prognozy.

Istotne jest przy tym, aby ustalić jednoznaczne wskaźniki ryzyka skażeń, które w miarę dokładny sposób będą odzwierciedlać zakres i charakter zagrożenia. Tylko bowiem w ten sposób decydent podejmujący decyzje w warunkach skażeń będzie w pełni świadomy konsekwencji swoich wyborów, a w efekcie stopień narażenia wojsk i ludności cywilnej pozostanie niski. W tym miejscu, warto wprowadzić termin – *wskaźniki ryzyka promieniotwórczego*, który choć nigdzie nie występuje, tutaj został przedstawiony specjalnie na potrzeby dalszych rozważań.

Aby określić wskaźniki ryzyka promieniotwórczego musimy się nieco cofnąć i przypomnieć, co jest celem prognozowania skażeń. Jak wiadomo jest nim zmniejszenie niewiedzy decydentów w stosunku do pojawiających się zadań decyzyjnych i pomoc w podejmowaniu decyzji w warunkach skażeń. Mówiąc konkretniej, tym celem będzie maksymalne ograniczenie narażenia na promieniowanie jonizujące, które nie pozwoli na utratę życia lub zdrowia zagrożonej ludności. Idąc dalej tym tokiem warto ustalić, co decyduje o poziomie narażenia ludności oraz jakie zmiennie przy tym występują.

W poprzednich rozdziałach wspomniano, że skutki oddziaływania promieniowania jonizującego na organizm ludzki są spowodowane pochłonięciem

odpowiednich dawek promieniowania. To właśnie od nich, a w zasadzie od ich wielkości zależy czy dana osoba przeżyje, czy też nie. To oznacza, że podejmując decyzję w warunkach skażeń promieniotwórczych będziemy dążyć do takiego dysponowania ludźmi, po którym możliwość pochłonięcia dużych dawek promieniowania będzie jak najmniejsza lub w ogóle nie wystąpi. Tym samym, do celów prognozowania możemy przyjąć, że podstawowym wskaźnikiem ryzyka promieniotwórczego będzie pochłonięta dawka promieniowania.

Drugim wskaźnikiem, który może być pomocny podczas prognozowania skażeń jest moc dawki promieniowania, która definiowana jest jako dawka pochłonięta w określonym czasie. Obecnie wyrażana jest głównie w cGy/h. O użyteczności obu wskaźników może świadczyć fakt, że są one podstawą do określania zasięgu stref skażonych we wszystkich znanych metodach prognozowania skażeń promieniotwórczych. Przykładowo w większości armii świata za próg skażenia promieniotwórczego przyjmuje się wartość mocy dawki promieniowania gamma (stopnia skażenia) równą 0,5 cGy/h, zmierzoną na wysokości jednego metra nad powierzchnią ziemi¹⁷.

Zastanawiając się nad wielkością wspomnianego wyżej progu skażenia można odnaleźć analogie do wartości dopuszczalnych dawek promieniowania dla wojsk działających w terenie skażonym. Według metodyk rosyjskich dawki te miały następujące wielkości:

Tabela 14

Dopuszczalne dawki promieniowania niepowodujące obniżenia zdolności bojowej wojsk

Czas i charakter napromienienia	Dawka dopuszczalna
Jednokrotne napromienienie w ciągu 4 dni	50 cGy
Wielokrotne napromienienie w ciągu 10–30 dni	100 cGy
Wielokrotne napromienienie w ciągu 3 miesięcy	200 cGy
Wielokrotne napromienienie w ciągu roku	300 cGy

Źródło: *Справочник по поражающему действию ядерного оружия*, Москва 1974, s. 104.

Jak widać z treści przedstawionych danych dopuszczalna dawka promieniowania, pochłonięta jednorazowo w ciągu 4 dni wynosi 50 cGy¹⁸. Wcześniej wyjaśniono, że taka wartość nie przedstawia żadnego zagrożenia dla zdrowia i życia żołnierzy, a ewentualne obniżenie zdolności bojowej następuje w sposób mi-

17 Warto zauważyć, że 0,5 cGy/h = 5 mSv/h, a to wartość znacznie większa niż jakiegokolwiek tło naturalnego promieniowania.

18 Dla personelu latającego i innych osób wykonujących szczególnie trudne zadania dopuszczalne dawki są o połowę mniejsze.

nimalny. Wszelkie przekroczenia tej wartości mogłyby jednak doprowadzić do pogorszenia stanu zdrowia, a przy naprawdę dużych wartościach spowodować nawet śmierć.

Z przedstawionej zależności wynika też, że dawkę 50 cGy można pochłonąć w ciągu 4 dni, co daje 96 godzin (w zaokrągleniu 100 h). Jeżeli dawkę 50 cGy podzielimy przez 100 godzin, to otrzymamy dopuszczalną moc dawki promieniowania 0,5 cGy/h. Stąd przyjęto, że teren, w którym moc dawki promieniowania gamma jest mniejszy niż 0,5 cGy/h nie stanowi większego niebezpieczeństwa i nie będzie traktowany jako skażony.

Dla porównania warto przytoczyć dopuszczalne dawki promieniowania według standardów NATO. W tym przypadku mówimy o tzw. kategoriach ekspozycji (*categories of exposure*) lub stanie napromienienia (*Radiation Exposure Status* – RES). Głównym celem takiej kategoryzacji jest określenie ogólnej zdolności bojowej żołnierzy i ich kwalifikacja do konkretnego poziomu ryzyka, wynikającego z przeszłego lub przyszłego napromienienia. Aktualnie wyróżnia się następujące stany napromienienia (RES):

- RES-0 jednostka nie była wcześniej napromieniona;
- RES-1 jednostka pochłonęła dawkę nie większą niż 75 cGy;
- RES-2 jednostka pochłonęła dawkę w granicach 75–125 cGy;
- RES-3 jednostka pochłonęła dawkę powyżej 125 cGy¹⁹.

W każdym stanie napromienienia RES określone zostały trzy stopnie ryzyka napromienienia wraz z odpowiadającymi im dawkami, których nie należy przekraczać oraz poziomem tzw. niezdolności utajonej (*Latent ineffectiveness* – LI)²⁰. Są to następujące stopnie: znikome (*negligible*) – dawka do 75 cGy, LI – 1%; średnie (*moderate*) – dawka do 100 cGy, LI – 2,5%; oraz niebezpieczne (*emergency*) – dawka do 125 cGy, LI – 5%.

Dzięki znajomości RES oraz ustalonym rodzajom ryzyka istnieje możliwość zaplanowania działań w terenie skażonym, przy jak najmniejszej utracie zdolności bojowej. Podstawowe założenia w tym zakresie przedstawiono w tabeli 15.

Każdorazowe przebywanie w terenie skażonym promieniotwórczo naraża człowieka na oddziaływanie promieniowania²¹, które przy dużych wartościach szybko może doprowadzić do utraty zdrowia, a nawet śmierci. Tym samym znajomość wskaźników ryzyka promieniotwórczego – dawki lub mocy dawki promie-

19 Zob. *Multiservice tactics, techniques, and procedures for chemical, biological, and nuclear contamination avoidance*, FM 3-11.3, Washington 2009, appendix C.

20 Niezdolność utajona LI jest traktowana jako kryterium utraty zdolności bojowej.

21 W terenie skażonym emitowane jest głównie promieniowanie gamma i beta, gdyż udział promieniowania alfa z nierozszczepionej części materiału jądrowego jest pomijalnie mały. Dodatkowo ruch cząstek beta w powietrzu powoduje powstawanie promieniowania hamowania.

niowania stanowi nieocenioną pomoc we wszelkich decyzjach związanych z wykonywaniem zadań w terenie skażonym. Warto przy tym pamiętać, że moc dawki promieniowania, zwana czasem poziomem promieniowania, jest miarą stopnia promieniotwórczego skażenia terenu, natomiast dawka promieniowania jest miarą stopnia porażenia stanu osobowego, przebywającego w terenie skażonym²².

Tabela 15

Stopnie ryzyka dla określonych stanów napromienienia

Kategoria stanu napromienienia RES (A)	Możliwa wielkość napromienienia (B) niepowodująca przekroczenia określonego stopnia ryzyka
RES-0 jednostki wcześniej nie napromienione	Ryzyko znikome ≤ 75 cGy Ryzyko średnie ≤ 100 cGy Ryzyko niebezpieczne ≤ 125 cGy
RES-1 jednostki wcześniej napromienione ≤ 75 cGy	Ryzyko znikome $A+B \leq 75$ cGy Ryzyko średnie $A+B \leq 100$ cGy Ryzyko niebezpieczne $A+B \leq 125$ cGy
RES-2 jednostki wcześniej napromienione ≥ 75 do ≤ 125 cGy	Każde dalsze napromienienie przekracza znikomy poziom ryzyka i może przekroczyć poziom średni Ryzyko znikome > 0 cGy Ryzyko średnie $A+B \leq 100$ cGy Ryzyko niebezpieczne $A+B \leq 125$ cGy
RES-3 jednostki wcześniej napromienione ≥ 125 cGy	Każde dalsze napromienienie przekracza niebezpieczny poziom ryzyka

Źródło: *Multiservice tactics, techniques, and procedures for chemical...*, wyd. cyt., s. C-9.

Analizując istotę i charakter obu wskaźników można wykazać zależność, według której dawka pochłonięta rośnie wraz z mocą dawki i czasem przebywania w terenie skażonym, a maleje, gdy korzystamy z ukryć, bądź osłon.

W analizach związanych z dawką i mocą dawki promieniowania można wyodrębnić przynajmniej kilka czynników, które je warunkują²³. Mają one różne znaczenie, jednak jeden jest zasadniczy, gdyż to on w głównej mierze decyduje o poziomie zagrożenia (wielkości dawki lub mocy dawki). Jest nim aktywność substancji promieniotwórczych, które pojawiły się w terenie na skutek wypadania pyłów z obłoku promieniotwórczego. Standardowo każdy pierwiastek promieniotwórczy ma określoną aktywność wyliczoną na podstawie prawa rozpadu promieniotwórczego. Po wybuchu jądrowym mamy jednak zupełnie inną sytuację, gdyż w pyłe promieniotwórczym znajduje się mieszanina wielu radioizotopów

22 I nie tylko, bowiem napromienieniu można ulec także nie będąc w terenie skażonym.

23 Na przykład: rodzaj wybuchu, kaliber ładunku jądrowego, pokrycie i rzeźba terenu, rodzaj gleby, opady, wiatr itp.

o bardzo różnej aktywności. To powoduje, że spadek aktywności nie może być wyliczony na podstawie prawa rozpadu promieniotwórczego jednego izotopu. Zamiast tego korzystamy ze wzoru ustalonego na drodze doświadczalnej:

$$A_2 = A_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-1,2}$$

gdzie:

A_2 – aktywność, jaką trzeba określić po czasie t ;

A_0 – aktywność, jaką zmierzono w czasie t_0 .

Jeżeli przyjmiemy, za $t_0 = 1$ godzinę po wybuchu, a czas w którym zmierzemy moc dawki A_2 wyniesie $t = 6,8$ h, to otrzymamy pewną prawidłowość:

$$A_2 = A_0 t^{-1,2} = A_0 6,8^{-1,2} = 0,1 A_0$$

To oznacza zależność, w której każdemu 7-krotnemu zwiększeniu czasu od wybuchu towarzyszy 10-krotny spadek aktywności. Zależność jest prawdziwa w dość długim okresie (do 200 dni, potem spadek aktywności następuje szybciej). Przedstawiona prawidłowość jest szeroko wykorzystywana podczas prognozowania skażeń, zwłaszcza wtedy, gdy podejmowane decyzje dotyczą przebywania w strefach skażeń lub ich przekraczania.

W tym miejscu warto dodać, że istnieje bezpośrednia zależność mocy dawki promieniowania od ilości i energii promieniowania gamma. Okazuje się przy tym, że ilość promieniowania gamma maleje wprost proporcjonalnie do spadku aktywności. W ten sposób wzór stosowany do określania spadku aktywności w terenie skażonym promieniotwórczo może być także wykorzystany do określania spadku poziomu promieniowania (mocy dawki), a wtedy przyjmuje postać:

$$P_2 = P_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-1,2}$$

gdzie:

P_2 – moc dawki promieniowania w czasie t ;

P_0 – moc dawki promieniowania, jaką zmierzono w czasie t_0 .

Wykorzystanie tego samego wzoru oznacza też, że w stosunku do poziomu promieniowania (mocy dawki) obowiązują te same zależności jak dla aktywności. Przykładowo każde 7-krotne zwiększenie czasu od wybuchu powoduje 10-krotny spadek mocy dawki promieniowania. Ta zależność powoduje jednak pewien problem, gdyż nie pozwala na proste przeliczanie mocy dawki na dawkę, według definicji, w której moc dawki to dawka pochłonięta w danym czasie.

Zgodnie z definicją, jeśli zmierzona moc dawki wynosi 10 cGy/h to przebywanie w terenie skażonym przez 2 godziny powinno skutkować pochłonięciem dawki 20 cGy. Tak jednak nie jest, gdyż moc dawki nieustannie maleje i owe „de-

finicyjne” wyliczenia nie będą prawidłowe²⁴. Aby uniknąć takich błędów wyprowadzono empiryczny wzór, który pozwala na wyliczenie dawki otrzymanej w dowolnym okresie przebywania w terenie skażonym.

$$D = 5 P t^{1,2} \left(\frac{1}{t_1^{0,2}} - \frac{1}{t_2^{0,2}} \right)$$

gdzie:

P – moc dawki promieniowania w czasie t;

t_1, t_2 – czas początku i końca napromienienia liczony w godzinach od momentu wybuchu.

W sytuacji, gdy początek napromienienia (t_1) występuje w momencie pomiaru mocy dawki (t) wzór przybiera następującą postać:

$$D = 5 P_1 t_1 \left[1 - \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{0,2} \right]$$

gdzie:

P – moc dawki promieniowania w czasie t_1 ;

t_1, t_2 – czas początku i końca napromienienia liczony w godzinach od momentu wybuchu.

Przedstawione wzory są użytecznym narzędziem, wykorzystywanym w procesie prognozowania skażeń jądrowych, szczególnie podczas określania rozmiarów stref skażeń, a także w trakcie kalkulacji związanych z oceną potencjalnych strat wśród żołnierzy lub ludności cywilnej. Warto jeszcze dodać, że literatura tematu obejmuje wiele, znacznie dokładniejszych zapisów, które pozwalają na szereg bardzo skomplikowanych kalkulacji w tym zakresie²⁵. Jednak wszystkie wyliczenia, niezależnie od ich szczegółowości, mają na celu maksymalne przybliżenie skali i charakteru problemów pojawiających się w strefach skażeń, a w następstwie podjęcie szybkiej i właściwej decyzji. Zarówno dawka, jak i moc dawki promieniowania bardzo dobrze charakteryzują zagrożenie, bezpośrednio wskazując obszar oddziaływania skażeń, ich natężenie oraz potencjalny wpływ na zdrowie i życie zagrożonej ludności. Z tego też względu w pełni zasługują na miano wskaźników ryzyka promieniotwórczego, traktowanych nie tylko jak indyktor zagrożenia, ale także jako użyteczne narzędzie w procesie prognozowania skażeń.

24 Takie wyliczenia mogą być stosowane dopiero po dłuższym okresie czasu (liczonym od momentu wybuchu), gdy spadek aktywności i mocy dawki jest już niewielki.

25 Por. Z. Michalak, *Analityczny opis rzeczywistego rozkładu promieniotwórczego skażenia terenu*, WAT, Warszawa 1976; S. Denus, *Prognozowanie opadu promieniotwórczego przy pomocy cyfrowych maszyn matematycznych*, WAT, Warszawa 1966; *Боевые свойства ядерного оружия*, Военное Издательство Министерства Обороны СССР, Москва 1967.

3.3. Metody prognozowania skażeń opadu promieniotwórczego

3.3.1. Wymagania i ograniczenia

Działanie wojsk na jądrowym polu walki obarczone jest dużym ryzykiem, wynikającym z realnej możliwości pochłonięcia dawek promieniowania, które w wielu przypadkach doprowadzi do znacznego obniżenia zdolności bojowej wojsk, a często także i śmierci. To powoduje, że wszelkie decyzje związane z przebywaniem w strefach skażenia promieniotwórczego muszą być podejmowane w sposób przemyślany i racjonalny. Tym samym, każdy decydent przed podjęciem takiej decyzji powinien posiadać taki zakres wiedzy, który pozwoli na dokonanie oceny sytuacji skażeń. Taka ocena będzie zaś możliwa dopiero po określeniu pewnych parametrów, wśród których na ogół zaliczamy:

- lokalizację stref skażeń powstałych po wybuchach jądrowych;
- przewidywany stopień skażenia terenu (mocy dawki);
- przewidywany stopień skażenia ludzi i sprzętu;
- lokalizację stref bezpiecznych.

Ustalenie wszystkich potrzebnych parametrów nie jest zadaniem łatwym, gdyż wymaga zebrania wielu, często bardzo zmiennych i niedostępnych informacji. Jak wcześniej wykazano położenie, kształt i rozmiary stref skażonych zależą od bardzo wielu czynników. Najważniejsze z nich to: miejsce, moc i rodzaj wybuchu, charakterystyka terenu oraz warunki meteorologiczne. Pierwszy czynnik – parametry wybuchu – przede wszystkim decyduje o skali zagrożenia. Po wybuchach doświadczalnych stwierdzono, że zasięg i natężenie skażeń jest wprost proporcjonalne do mocy wybuchu²⁶. Ta prawidłowość ma jednak znaczenie wyłącznie w przypadku wybuchów naziemnych (nawodnych), gdyż wybuchy powietrzne i podziemne nie generują skażeń w skali, która mogłaby stanowić zagrożenie. Inaczej jest przy wybuchach naziemnych, gdy gleba w epicentrum wybuchu zostaje zassana do obłoku, stając się w ten sposób nośnikiem substancji promieniotwórczych. Po pewnym czasie cząstki pyłów zaczynają opadać i tworzą strefy skażeń, przy czym szybkość wypadania cząstek pyłu zależy od ich średnicy, masy, kształtu i gęstości. Zachodzą przy tym procesy nukleacji, kondensacji, koagulacji i frakcjonowania. Ten ostatni polega na niejednorodnym osadzaniu się produk-

26 Nie dotyczy to wybuchów termojądrowych, w których energia uzyskana podczas wybuchu przede wszystkim pochodzi z reakcji syntezy, a w tej jak wiadomo nie powstają produkty rozszczepienia.

tów rozszczepienia na cząstkach o różnej średnicy, co w efekcie prowadzi do dużych różnic w składzie izotopowym na powstałym później śladzie obłoku.

Powstające strefy skażeń charakteryzują się ustalonym natężeniem promieniowania, które w zależności od przyjętych algorytmów można obliczyć w każdym miejscu terenu skażonego. To z kolei będzie miało bezpośredni wpływ na stopień skażenia lub napromienienia ludności, która w takim terenie będzie przebywać.

Pozostałe dwa czynniki – teren i warunki meteorologiczne – także mają znaczenie, zwłaszcza jeśli są zmienne. Teren bardzo urozmaicony, pofałdowany z dużą ilością bujnej roślinności prowadzi do powstawania miejsc, w których gromadzi się zwiększona ilość pyłów promieniotwórczych, co powoduje, że natężenie występującego tam promieniowania jest znacznie większe niż w terenie płaskim.

Jeszcze większe znaczenie mają warunki meteorologiczne, a szczególnie prędkość i kierunek wiatru w górnych warstwach atmosfery. W tym miejscu warto dodać, że chodzi o warstwy, w których następuje formowanie obłoku promieniotwórczego, bo to on będzie źródłem opadu, który w następstwie wytworzy strefy skażeń. Okazuje się jednak, że sprecyzowanie parametrów owych warstw nie jest takie łatwe, bowiem moc wybuchów jądrowych może być bardzo zróżnicowana, co oznacza, że zarówno prędkość, jak i wysokość formowania obłoku promieniotwórczego też będą zmienne. Analiza literatury także nie pomaga, gdyż, jak się okazuje poszczególne źródła nie są zgodne, ani co do czasu kształtowania się obłoku promieniotwórczego, ani co do jego parametrów już po jego ustabilizowaniu²⁷. Do analizy parametrów ustabilizowanego obłoku określa się zwykle następujące wielkości:

- górną granicę (wysokość wierzchołka) obłoku H_w ;
- dolną granicę (wysokość podstawy) obłoku H_p ;
- 2/3 pnia obłoku;
- grubość obłoku, $H_w - H_p$;
- średnicę obłoku, D_o .

Ciekawą analizę parametrów obłoku promieniotwórczego przeprowadził S. Denus. W jego opracowaniu znajdziemy porównanie podstawowych wymiarów ustabilizowanego obłoku pochodzących z różnych źródeł literaturowych. Przedstawiono je w tabeli 16.

27 W większości opracowań za obłok ustabilizowany przyjmuje się obłok po 10 minutach od wybuchu, chociaż na pewno wiadomo, że w zależności od mocy wybuchu czas formowania obłoku może być zupełnie inny. Mimo to panuje pogląd, iż jest to najlepszy moment na określenie parametrów obłoku, gdyż wtedy czynnikiem, który ma największy wpływ na kształt i rozmiary obłoku jest moc wybuchu. Potem zaczyna dominować siła wiatru, znacznie zniekształcając końcowy obraz obłoku.

Wymiary ustabilizowanego obłoku promieniotwórczego

Moc wybuchu	Wysokość wierzchołka Hw (km)		Wysokość podstawy Hp (km)		Średnica obłoku Do (km)	
	R	A	R	A	R	A
1 kt	4	2,8	2,8	1,5	2	1,7
2	4,5	4,5	3,1	2,7	2,5	2,4
5	5,5	7,2	3,9	4,8	3,5	3,5
10	7	9,4	5	6,4	4,5	4,6
20	8	11,5	5	8	5,5	6
30	9	12,8	5,3	9	6	7,2
50	10	14,2	6	10,4	7	9
100	12	16,5	7	12	9	12
200	14	18,6	8	13,5	12	16
300	15	19,6	8	14,4	13	19
500	17	21,5	9	15,6	16	23
1 Mt	19	23,2	9	16,7	20	31
3	24	26,5	11	17,8	30	48
10	31	29,5	13	18,5	43	80
50	42	34,5	16	19,4	74	155

Legenda: R – źródła rosyjskie (1963 r.); A – źródła amerykańskie (1961 r.).

Źródło: S. Denus, *Prognozowanie opadu promieniotwórczego przy pomocy maszyn matematycznych*, WAT, Warszawa 1966, załącznik 2, s. 58.

Nawet pobieżna analiza danych przedstawionych w tabeli pozwala wysnuć wniosek, że parametry obłoku promieniotwórczego są przyjmowane w sposób bardzo różny. Z dużym prawdopodobieństwem można jednak przyjąć, że tego typu rozbieżności wynikają z odmiennych warunków prowadzenia próbnych wybuchów jądrowych. Ocenia się, że szczególne znaczenie miało miejsce wykonywania eksplozji, gdyż położenie geograficzne jest ściśle związane z warunkami meteorologicznymi, które tam występują, a te jak wiadomo mają decydujące znaczenie na propagację obłoku.

Niezależnie od rozbieżności w podanych parametrach, przedstawione wyliczenia dają pewne wyobrażenie na temat kształtu i wymiarów obłoku. W ten sposób wiadomo, że dla większości obłoków ich parametry będą określone w warstwach atmosfery od zera do 30 kilometrów²⁸.

Można się więc zastanawiać, czy publikowanie wielkości poszczególnych parametrów obłoku ma jakikolwiek sens i rzeczywiście może się do czegoś przydać. Przecież dane, tabele i metodyki, którymi będziemy się posługiwać bazują na wy-

28 Wybuchy bardzo dużej mocy będą się wznosić jeszcze wyżej, ale są mało prawdopodobne.

nikach prób doświadczalnych, które były wykonywane w pewnych, charakterystycznych dla siebie warunkach. W przyszłości uderzenia jądrowe mogą wystąpić w dowolnym miejscu, nawet w takim, w którym warunki terenowe, meteorologiczne czy klimatyczne będą diametralnie inne niż te, które były podstawą metodyki. W ten sposób wszelkie wzory, tabele i wyliczenia będą mocno odbiegały od faktycznych parametrów danego wybuchu, co z pewnością bardzo utrudni przygotowanie wiarygodnej prognozy. Wiadomo jednak, że przygotowanie prognozy skażeń promieniotwórczych nie jest zadaniem łatwym, głównie z powodu swojej złożoności i nieprzewidywalności. Celem prognozy nie jest jednak dokładne poznanie prognozowanej przyszłości, lecz przygotowanie warunków do podjęcia jak najlepszej decyzji, takiej która pozwoli na ostrzeżenie zagrożonej ludności, jej wycofanie z zagrożonych terenów lub podjęcie innych koniecznych działań zabezpieczających. Z tego też powodu metody prognozowania skażeń wykorzystywane na potrzeby wojsk zawierają szereg uproszczeń i ograniczeń, które jednak nie powinny mieć wpływu na szybkość i jakość podejmowanych decyzji, a jedynym kryterium prawidłowości prognozy jest jej porównanie rzeczywistymi wynikami pomiarów wykonanych w terenie skażonym. Dlatego, rozpatrując metody oceny sytuacji skażeń wymienia się wyłącznie dwa sposoby pozyskiwania danych. Pierwszy, który polega na wykonaniu bezpośrednich pomiarów w terenie skażonym przy pomocy przyrządów dozymetrycznych (rozpoznanie skażeń) i drugi – prognozowanie skażeń. Oba sposoby przygotowania danych do decyzji mogą funkcjonować łącznie lub osobno, w zależności od potrzeb i aktualnych możliwości.

W tym miejscu może powstać wątpliwość wyrażona pytaniem, kiedy należy stosować rozpoznanie, kiedy prognozowanie, a kiedy oba sposoby razem? Aby to rozstrzygnąć należy przypomnieć zasady funkcjonowania wojsk i ludności cywilnej w warunkach skażeń. Pierwsza z nich nakazuje unikać przebywania w jakimkolwiek terenie skażonym. W miarę możliwości należy go obchodzić, a jeżeli się w nim znajdziemy natychmiast go opuścić. To oznacza, że jeśli nie musimy przebywać w terenie skażonym, to żadne rozpoznanie skażeń nie jest nam potrzebne. Jak wcześniej wykazano moc dawki promieniowania bardzo szybko spada, więc po stosunkowo niedługim czasie teren będzie znowu zdatny do wykorzystania. W takich właśnie sytuacjach wystarcza prognozowanie skażeń, które pozwoli nam na określenie w miarę prawdopodobnych konturów i zasięgu skażenia oraz określenie ewentualnych skutków napromienienia.

Zupełnie innym przypadkiem jest sytuacja, w której z pewnych ważnych powodów istnieje konieczność prowadzenia działań w terenie skażonym. Jak wiadomo przebywanie w terenie skażonym jest bardzo niebezpieczne, a utrata zdrowia lub nawet śmierć są bardzo prawdopodobne. Aby tego uniknąć w wyznaczonych

miejscach prowadzi się szczegółowe rozpoznanie skażeń²⁹, którego wyniki posłużą potem do odtworzenia rzeczywistej sytuacji skażeń, a w następstwie na określenie możliwości działania w skażonym terenie³⁰. Wadą rozpoznania skażeń jest jednak późny czas wejścia w teren skażony, spowodowany tym, iż trzeba zaczekać na zakończenie wypadania pyłu promieniotwórczego. Tym samym trudno wymagać, aby decydent beczynnie czekał przez wiele godzin, w sytuacji gdy decyzję o ostrzeganiu, ewakuacji lub przegrupowaniu wojsk trzeba podjąć w bardzo krótkim czasie. Dlatego do takich celów musi wystarczyć prognozowanie, które w miarę możliwości można potem doprecyzować, korzystając z wyników późniejszego rozpoznania. Należy jednak pamiętać, że łączne wykorzystanie obu sposobów jest możliwe tylko pod warunkiem, że wejście w teren skażony nie będzie obciążone zbyt dużym ryzykiem.

Wszystkie badania naukowe i cała nauka opierają się na założeniu, że podobne zjawiska zachodzą w podobnych okolicznościach, a tylko **zmiennie** określają, pod jakim względem należy rozpatrywać poszczególne zjawiska i przedmioty lub ich właściwości oraz jakie typy relacji zachodzące między nimi bierzemy pod uwagę³¹. Podobne relacje odnajdziemy w prognozowaniu skażeń, gdzie prawie wszystkie kalkulacje bazują na zmiennych. Te zaś mogą być różnie kategoryzowane, na przykład jako zmienne zależne i niezależne, wejściowe i wyjściowe lub ciągłe i dyskretne. Można też dodać, że w zależności od rodzaju wykorzystywanych zmiennych każdy przedmiot prognozowania może być rozpatrywany w dwóch aspektach – deterministycznym i probabilistycznym.

Teoria prognozowania skażeń zawiera wiele możliwości wykorzystania konkretnych zmiennych, jednak do dalszych rozważań wystarczy jak przyjmiemy tylko jeden ich rodzaj, według kryterium – wejście/wyjście. Zgodnie z nim, do najważniejszych zmiennych wejściowych zaliczymy: współrzędne punktu zerowego wybuchu, rodzaj (wysokość), czas i moc wybuchu (wysokość i szerokość kątową ukształtowanego obłoku), prędkość i kierunek wiatru w danym miejscu i warstwie atmosfery, opady, warunki terenowe oraz wielkość i czas wypadania cząstek. Stosunkowo duża liczba zmiennych wejściowych może sugerować, że podobna sytuacja wystąpi także w przypadku zmiennych wyjściowych. Okazuje się jednak, że to, co chcemy obliczyć nie jest aż tak zróżnicowane i w zasadzie

29 Szczegółowe zasady prowadzenia rozpoznania skażeń przedstawiono w: J. Solarz, L. Słomka, M. Młynarczyk, *Rozpoznanie skażeń we współczesnych uwarunkowaniach*, cz. I, *Potrzeby i możliwości rozpoznania skażeń w czasie pokoju, kryzysu i wojny*, AON, Warszawa 2011 oraz J. Solarz, M. Młynarczyk, *Rozpoznanie skażeń we współczesnych uwarunkowaniach*, cz. II, *Optymalizacja procedur rozpoznania skażeń*, AON, Warszawa 2011.

30 Dalsze rozważania w tym zakresie przedstawiono w rozdziale 5.

31 Por. S. Juszczak, *Metodologia badań empirycznych naukach społecznych*, tom I, *Badania ilościowe*, Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego, Katowice 2001, s. 39.

ogranicza się do trzech zmiennych, tj.: kształt i zasięg skażenia, pochłonięta dawka promieniowania oraz moc dawki w określonym miejscu stref skażeń.

Podsumowując wątek wymagań i ograniczeń prognozowanej sytuacji skażeń trzeba się odnieść do dwóch zasadniczych jej aspektów, jakimi są czas przygotowania prognozy oraz jej dokładność i wiarygodność. Wcześniej już wykazano, że czas przygotowania prognozy służącej do ostrzegania wojsk i ludności cywilnej powinien być jak najkrótszy. Co to jednak znaczy i jak ten czas obliczyć? Wbrew pozorom odpowiedź na to pytanie nie jest trudna, gdyż aby skutecznie ostrzegać, prognoza powinna być gotowa przed dotarciem obłoku promieniotwórczego do zagrożonych obszarów i wytworzeniem się rozległych stref skażeń. Tylko wtedy zagrożona ludność będzie miała czas na ewakuację lub podjęcie stosownych działań ochronnych. W praktyce proste metody prognozowania skażeń (analityczno-graficzne) umożliwiają przygotowanie prognozy już kilkanaście minut po wprowadzeniu danych o wybuchu, a to oznacza, że w wielu rejonach wypadanie pyłu promieniotwórczego nawet się nie zaczęło.

Zupełnie inna sytuacja występuje w przypadku korzystania z matematycznych metod prognozowania (metody informatyczne, znane wcześniej jako maszynowe³²), które wymagają bardzo dokładnych danych o parametrach wybuchu. Ich dostępność jest znacznie ograniczona, a jeżeli już jest to czas ich pozyskania liczy się w godzinach. Tak długi czas przygotowania prognozy całkowicie wyklucza możliwość wykorzystania tych metod do tego typu zadań.

Drugim, ważnym aspektem prognozowania skażeń jest jego dokładność, a przez to i wiarygodność. Łatwo przewidzieć, że w tym przypadku zależność jest odwrotna, gdyż metody proste są znacznie mniej dokładne niż metody informatyczne, w których ilość przetwarzanych informacji jest zdecydowanie większa. Mimo to, taka sytuacja nie dyskwalifikuje metod prostych, bowiem w ich przypadku czas przygotowania prognozy jest znacznie ważniejszy niż jej dokładność, co jednak nie oznacza, że można całkowicie z niej zrezygnować. Idealny efekt, w którym czas opracowania byłby krótki, a dokładność prognozy bardzo duża jest niemożliwy do uzyskania, dlatego przydatność prognozy opracowanej przy ocenie prognozowanej sytuacji skażeń jest wynikiem kompromisu między szybkością i dokładnością. Wśród czynników, które mają największy wpływ na dokładność prognozowania skażeń wyróżniono trzy: parametry wybuchu jądowego

32 Dzisiaj podział ten nieco się zaciera, bo komputery i stosowne oprogramowanie można wykorzystywać także w przypadku metod prostych. Jedyna, obecnie różnica wyraża się w ilości przetwarzanych informacji, stopnia użycia aparatu matematycznego oraz czasie ich pozyskania i opracowania.

(moc, współrzędne i rodzaj wybuchu), parametry wiatru (kierunek i prędkość w wybranych warstwach atmosfery) oraz rodzaj metody prognozowania (proste lub informatyczne)³³.

3.3.2. Przegląd metod prognozowania

Prognozowanie opadu promieniotwórczego w warunkach użycia broni jądrowej nie jest zadaniem łatwym. Aby temu sprostać przeprowadzono szereg testów jądrowych, podczas których badano nie tylko zjawisko samego wybuchu, ale także sposób rozprzestrzeniania się obłoku promieniotwórczego i jego wpływ na powstawanie skażeń. W kolejnych obliczeniach uwzględniano szereg czynników, które w mniejszym lub większym stopniu wpływały na charakter rozprzestrzeniania się cząstek opadu. Szczególnie cenne okazały się doświadczenia uzyskane podczas operacji CASTLE, zwłaszcza te po pierwszym wybuchu o kryptonimie BRAVO, przeprowadzonym 1 marca 1954 roku na atolu Bikini³⁴. Ogrom spowodowanego skażenia całkowicie zaskoczył naukowców i wojskowych, ale jednocześnie dostarczył dużo, bardzo konkretnych danych o charakterze i sposobie rozprzestrzeniania się opadu promieniotwórczego. Dzięki temu, badania nad opracowaniem dokładnych metod prognozowania skażeń jądrowych znacznie przyspieszyły i wkrótce potem zaczęły się pojawiać kolejne rozwiązania.

Analiza piśmiennictwa traktującego o opadzie radioaktywnym oraz metodach jego prognozowania pozwala na stwierdzenie, że opracowania były stosunkowo liczne, jednak ta liczebność nie zawsze oznaczała tę samą jakość. Taki stan rzeczy wynikał z wielu powodów, jednak za najważniejszy uważa się niejednakowy dostęp do informacji oraz zróżnicowany poziom wiedzy poszczególnych autorów, którzy oprócz prawdziwie naukowych rozważań publikowali wiele informacji niekompletnych, niesprawdzonych, a często także, z naukowego punktu widzenia zupełnie nieistotnych. Najwięcej opracowań pojawiło się w latach 50.–60., kiedy powstawały pierwsze prace, w których analiza skutków użycia broni jądrowej prowadzona była równoległe z poszukiwaniem najlepszego algorytmu do pro-

33 S. Denus, *Prognozowanie opadu promieniotwórczego...*, wyd. cyt., s. 17.

34 Była to największa amerykańska próba jądrowa, w której rzeczywista siła wybuchu (15 Mt) trzykrotnie przekroczyła zakładaną. W efekcie doszło do największego skażenia w historii amerykańskich prób jądrowych – zob. R.L. Steton, E.A. Schuert, W.W. Perkins, T.H. Shirasawa, H.K. Chan, *Operation Castle Project 2.5a Distribution and Intensity of Fallout*, U.S. Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco 1956; T. Kunkle, B. Ristvet, *Castle Bravo: Fifty Years of Legend and Lore*, Defense Threat Reduction Agency, Defense Threat Reduction Information Analysis Center, DTRIAC SR-12-001, Washington 2013.

gnozowania opadu promieniotwórczego³⁵. W tych latach intensywność badań była wprost proporcjonalna do stopnia zaawansowania technologii jądrowych poszczególnych państw i z tego względu przeważały opracowania amerykańskie oraz radzieckie, podczas gdy pozostali posiadacze broni jądrowej ograniczali się do publikacji pojedynczych opracowań³⁶. Wiadomo też, że był to okres intensywnych prób jądrowych, dlatego w badaniach wykorzystywano dane pozyskiwane bezpośrednio z tych testów, co znacznie ułatwiało prace nad opracowaniem odpowiednich metod prognozowania skażeń³⁷. O dużym zainteresowaniu tym tematem świadczą liczne konferencje, które przyciągały wielu znawców problemu i licznych sympatyków³⁸. Z drugiej strony trzeba zaznaczyć, że w tym czasie większość opracowań była tajna, a przez to niemożliwa do wykorzystania w szerszym zakresie. Część tych dokumentów pozostała niejawna do dnia dzisiejszego, chociaż wiele z nich, po odtajnieniu jest już dostępna³⁹.

W późniejszych latach metody prognozowania skażeń były wciąż poprawiane i doskonalone, co przełożyło się na szereg publikacji, w których poszukiwano metody najlepszej, czyli takiej, która zapewnia dużą wiarygodność i krótki czas jej przygotowania⁴⁰. W tym miejscu powstał jednak problem polegający na ustaleniu jak interpretować termin wiarygodność. Standardowo założono, że będzie on oznaczał taki stopień pewności, przy którym warunki meteorologiczne, terenowe i różne parametry wybuchu, wpływające na kształt i zasięg skażenia będą repre-

35 S. Glasstone, *The Effects of Nuclear Weapons*, United States Atomic Energy Commission, Washington 1957; C.F. Miller, *Biological and Radiological Effects of Fallout from Nuclear Explosions*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1964.

36 Kolejność posiadania broni jądrowej była następująca: Stany Zjednoczone (1945), ZSRR (1949), Wielka Brytania (1952), Francja (1960), Chiny (1964), Indie (1974), Izrael (1979), Pakistan (1998), Korea Płn. (2006). Oprócz tego, szereg innych państw także posiadało swoje programy jądrowe, jednak później z różnych powodów z nich zrezygnowały.

37 *Fallout from Nuclear Weapons Tests*, Summary-Analysis of Hearings May 5–8, 1959, Washington; C.L. Comar, *Fallout from Nuclear Tests*, U.S. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, 1966; E.N. Parker, *Radioactive Fallout from Nuclear Explosions*, A statement before the Department of defense Subcommittee, Committee on Appropriations, United States House of Representatives on 23 March 1960, Washington.

38 *The Shorter-Term Biological Hazards of a Fallout Field*, Symposium, Washington December 12–14, 1956; *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, Proceedings of a Conference Held in Germantown, November 15–17, 1961; *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, Proceedings of the Second Conference in Germantown, November 3–6, 1964; *Radiological Protection of the Public in a Nuclear Mass Disaster*, Proceedings of a Symposium, Interlaken, 26 May–1 June 1968.

39 R.R. Rapp, *A New Model for Fallout Calculations*, RM-2115, RAND Corporation, Santa Monica 1958; T.A. Gibson Jr., *Gamma Fallout Fields, Project Palanquin*, Lawrence Radiation Laboratory University of California, Livermore 1965.

40 A. Schiff, *Problems with Predicting Fallout Radiation Hazard in Tactical Battlefield Situations*, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore 1973; H.A. Hawthorne, *Fallout Hazard Prediction Inconsistencies*, General Electric Company – TEMPO, Washington 1979.

zentowały wartości uśrednione. To zaś oznaczało nie uwzględnianie różnych anomalii i odchyłeń od wzorca, którym są uproszczone kontury obłoku. Dodatkowo okazało się, że połączenie wiarygodności i szybkości opracowania prognozy nigdy nie będzie optymalne, bo zebranie odpowiednich danych wejściowych zawsze jest czasochłonne, a ponadto wymaga specjalistycznego sprzętu i odpowiedniego wyszkolenia.

W efekcie metody prognozowania można podzielić na dwie grupy, tj.: na skomplikowane metody matematyczno-informatyczne (maszynowe) oraz analityczno-graficzne. Sporadycznie pojawiają się też pewne modyfikacje w tej typologii na przykład propozycja L. Kownackiej, która sugeruje podział na metody numeryczne, analogowe i pośrednie⁴¹. Po bliższej analizie okazują się jednak, że także w tym przypadku chodzi o te same metody wymienione wcześniej, tylko granice między nimi są znacznie mniej wyraźne. Podobny podział proponuje także J.C. Willis, który uważa, że metody predykcji skażeń należy podzielić na systemy ręczne, proste systemy komputerowe oraz najbardziej zaawansowane metody wymagające skomplikowanych algorytmów i dużej ilości danych⁴².

Systemy ręczne, reprezentowane przez DNA EM-1 lub FM 3-22 są bardzo proste, nie wymagają specjalnego przeszkolenia ani wyposażenia, a ponadto nie potrzebują wielu danych wejściowych⁴³. To powoduje, że metody te będą podstawowymi metodami do szybkiego ostrzegania i alarmowania zagrożonej ludności, natomiast nie będą wystarczające na potrzeby dokładnego planowania działań bojowych lub szczegółowej oceny skutków rażenia broni jądrowej.

Drugi rodzaj metod bazuje na modelu WSEG-10 (*Weapons System Evaluation Group*), który co prawda wymaga komputera do obliczeń, jednak ich zakres i stopień trudności jest stosunkowo nieduży⁴⁴. Istotą tej metody jest empiryczne podejście do prognozowania opadu, w oparciu o dane z testów jądrowych, przy czym dotyczy to wyłącznie wybuchów naziemnych, o mocy mieszczącej się w granicach 1 kt–100 Mt, bez uwzględnienia aktywności wzbudzonej. Analiza li-

41 L. Kownacka, *Chmury radioaktywne i obszary skażeń towarzyszące wybuchom jądrowym* [w:] *Zagrożenie radiacyjne ludności w czasie wojny jądrowej*, część I, Raport Nr CLOR-90/I/D, Warszawa 1972, s. 86.

42 J.C. Willis, *The History of Fallout Prediction*, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, 1979, s. 25.

43 DNA EM-1 *Capabilities of Nuclear Weapons*, Defense Nuclear Agency, Washington 1972; FM 3-22 *Fallout Prediction*, Department of the Army, Washington 1973.

44 D.W. Hanifen, *Documentation and Analysis of the WSEG-10 Fallout Prediction Model*, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, 1980; N.H. Ruotanen, *An Improvement to the WSEG Fallout Model Low Yield Prediction Capability*, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, 1978.

teratury pozwala uznać, że pierwsze rozwiązania tego typu zostały przedstawione w pracach: R.R. Rapp'a⁴⁵, A.D. Andersona⁴⁶, oraz J.B. Knox'a⁴⁷.

Zaletą tych metod była nie tylko prostota, ale też możliwość ciągłego doskonalenia, co spowodowało, że wykorzystywane algorytmy stawały się coraz lepsze i obecnie są to już metody o stosunkowo dużych możliwościach obliczeniowych, połączonych z modułami pełnej wizualizacji i automatyzacji. To zaś w prostej linii prowadzi do metod trzeciego typu, które wykorzystują bardzo zaawansowane algorytmy prognozowania skażeń. Większość z nich, poza kalkulacją opadu promieniotwórczego umożliwia dokonywanie szeregu innych obliczeń i prognoz, także w zakresie uwolnień chemicznych, biologicznych czy radiologicznych. Obecnie do najbardziej znanych zautomatyzowanych metod prognozowania skażeń zaliczamy: DELFIC (*Defense Land Fallout Interpretive Code*)⁴⁸, HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*)⁴⁹ oraz HPAC (*Hazard Prediction and Assessment Capability*)⁵⁰.

Metody te zapewniają najlepsze możliwości w zakresie dokładnego odwzorowania skutków opadu promieniotwórczego, jednak nie spełniają podstawowych wymagań w zakresie szybkości opracowania prognozy. Z tego względu są wykorzystywane głównie do dokładnych analiz skutków opadu promieniotwórczego, co jednak nie oznacza, że nie można ich stosować także do innych celów, na przykład do ostrzegania. W takim jednak przypadku ilość danych wejściowych jest ograniczana do niezbędnego minimum, czyli do informacji, które można pozyskać w bardzo krótkim czasie. Przegląd wybranych, amerykańskich metod prognozowania opadu promieniotwórczego przedstawiono w tabeli 17.

45 R. Rapp, *A New Model of Fallout Calculations*, Report USA, RM-2115, RAND, Del. 1958; R. Rapp, *A Reexamination of Fallout Models*, Report USA, RM-4910, TAB, 1966.

46 A.D. Anderson, *The NRDLD Dynamic Model Fallout from Land Surface Nuclear Bursts*, United States Naval Radiological Defense Laboratory, USNRDL TR410, Las Vegas 1960.

47 J.B. Knox, *Prediction of Fallout from Subsurface Nuclear Detonations*, Report USA, UCRL-12125, 1964.

48 *DELFIC: Department of Defense Fallout Prediction System*, Volume II – User's Manual, Atmospheric Science Associates, Bedford 1979.

49 A.F. Stein, R.R. Draxler, G.D. Rolph, B.J.B. Stunder, M.D. Cohen, and F. Ngan, *NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System*, Bulletin of the American Meteorological Society, Volume 96, Issue 12, Maryland 2015, s. 2059–2077.

50 *Hazard Prediction & Assessment Capability (HPAC)*, Defense Threat Reduction Agency (DTRA), Fort Belvoir 2005.

Wybrane metody predykcji opadu promieniotwórczego (USA)

Rok	Nazwa lub Kod	Autor	Agencja	Dokument wprowadzający
1953	Project Sunshine R-251-AEC	A. Kramich (editor)	RAND Corpora- tion	Worldwide Effects of Atomic Weapons Project Sunshine
1954	Project Aureole R-265-AEC	S. Greenfield, W.W. Kellog, F.J. Krieger, R.R. Rapp	RAND Corpora- tion	Transport and Early Deposition of Radioactive Debris – Project Aureole
1954	RM 1371	R.H. Dishington	RAND Corpora- tion	A Model for Fallout Calcula- tions
1956	P-882-AEC	R.R. Rapp	RAND Corpora- tion	A Mathematical Model of the Phenomenon of Radioactive Fallout
1958	RM-2115	R.R. Rapp	RAND Corpora- tion	A New Model of Fallout Cal- culations
1958	RM-2193	R.R. Rapp	RAND Corpora- tion	A Simplified Model for Fallout Calculations
1960	RM-2460	E.S. Batten, D.L. Iglehard, R.R. Rapp	RAND Corpora- tion	Derivation of Two Single Methods for the Computing of Radioactive Fallout
1959	USNRDL-TR-289	A.D. Anderson	The Naval Radio- logical Defense Laboratory	Application of Theory for Close-In Fallout to Low Yield Land Surface and Underground Nuclear Detonations
1960	USNRDL-TR-410	A.D. Anderson	The Naval Radio- logical Defense Laboratory	The NRDL Dynamic Model Fallout from Land Surface Nuc- lear Bursts
1956	PVTM-18-56		Air Force Intelli- gence Center	Effectiveness of Radiological Fallout as an Area denial Agent
1961	AFM 200-8		U.S. Air Force	Nuclear Weapons Employment Handbook
1957	TM 23-200		Department of The Army	Capabilities of Atomic We- apons
1972	DNA EM-1	Ph.J. Dolan (editor)	Defense Nuclear Agency	Capabilities of Nuclear We- apons
1959	WSEG-RM-10	G.E. Pugh, R.J. Galiano	Weapons Systems Evaluation Group	An Analytic Model of Close-In Deposition of fallout For use in Operational-Type Studies
1962	WSEG-NAS		National Aca- demy of Science Working Group	Fallout Models for Attack Da- mage Assessment
1955		K.M. Nagler, L. Machta, F. Pooler Jr.	U.S. Weather Bureau	A Method of Fallout Prediction for Tower Bursts at the Nevada Test Site
1963		C.F. Miller	Office of Civil Defense	Fallout and Radiological Coun- termeasures, volume 1

Rok	Nazwa lub Kod	Autor	Agencja	Dokument wprowadzający
1977	ENW	S. Glasstone, Ph.J. Dolan	U.S. Department of Defense, U.S. Department of Energy	The Effects of Nuclear We- apons
1981	DNAF-1	H.G. Norment	Defense Nuclear Agency	An Analytical Fallout Predic- tion Model and Code
1969	AP 550-1-2-69- -INT		Defense Intelli- gence Agency	Physical Vulnerability Handbo- ok - Nuclear Weapons
1976	PVTM-16-76	T.Ch. Thomas	Defense Intelli- gence Agency	Origin of Radioactive Fallout Material in Nuclear Physical Vulnerability Handbook
1962	TM 3210	G.H. Decker, J.C. Lambert	Department of the Army	Fallout Prediction
1973	FM 3-22		Department of the Army	Fallout Prediction
1966	DELFIK	H.G. Norment	Department of Defense	Department of Defense Land Fallout Prediction System, vo- lume I. System Description
1994	ATP-45		NATO	Reporting Nuclear Detona- tions, Biological and Chemical Attacks, and Predicting and Warning of Associated Hazards and Hazard Areas

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J.C. Willis, *The History of Fallout Prediction*, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, 1979; R. Rowland, *Fallout Computer Codes A Bibliographic Perspective*, Kaman Science Corporation, Santa Barbara 1994; H.A. Hawthorne, *Fallout Hazard Prediction Inconsistencies*, General Electric – TEMPO, Santa Barbara 1979; A. Schiff, *Problems with Predicting Fallout Radiation Hazard in Tactical Battlefield Situations*, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore 1973; T.F. Harvey, F.J.D. Serduke, *Fallout Model for System Studies*, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore 1979.

Wielość i różnorodność modeli prognozowania skażeń jądrowych powoduje, że szczegółowa analiza wszystkich metod nie jest możliwa, zwłaszcza że duża część danych jest niedostępna lub przestarzała. Mimo to w dalszych rozważaniach warto przedstawić przynajmniej kilka najciekawszych metod, szczególnie tych, które były prekursorami metod stosowanych obecnie. Ze względów praktycznych ograniczymy się jednak tylko do propozycji amerykańskich i rosyjskich.

Do najbardziej reprezentatywnych metod tego typu możemy zaliczyć: metodę C.F. Millera; metody Glasstone'a (ENW) opracowane w *Naval Radiological Defense Laboratory* (NRDL)⁵¹; metodę hodografu opracowaną w *Weather Bureau*

51 S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, wyd. cyt.

US Army⁵²; metody stref – elips opracowane w ZSSR⁵³ oraz metoda wojsk USA, rozwinięta potem jako ATP-45.

Model Millera⁵⁴ znany jako *Simplified Fallout Scaling System* został opublikowany w 1962 roku na potrzeby obrony cywilnej. Jego celem było stworzenie obiektywnego obrazu środowiska skażonego po wybuchach jądrowych, opadem lokalnym lub ogólnościowym. Model bazuje na teoretycznych koncepcjach tworzenia opadu jądrowego i procesów jego dystrybucji w atmosferze, opracowanych na podstawie analizy zjawisk i wzajemnych korelacji zachodzących podczas eksperymentalnych prób jądrowych. Był przeznaczony przede wszystkim do szacowania intensywności opadu, określania potencjalnych dawek promieniowania oraz przewidywania rozkładu (obszaru) skażenia, do czego zakładał wykorzystanie zarówno technik ręcznych, jak i komputerowych. Bazował przy tym na danych określających ilość i wielkość cząstek opadu oraz ich chemiczną i radiologiczną charakterystykę⁵⁵.

Do kalkulacji wykorzystano model ustabilizowanego obłoku, a także założono, że kierunek i prędkość wiatru jest jednakowa w całym obszarze. Ponadto przyjęto szereg uproszczeń, dotyczących kształtu i wielkości obłoku, co jednak nie przeszkadzało w prawidłowym odwzorowaniu rzeczywistych parametrów obłoku i sytuacji skażeń. Miller podaje, że najszybciej opadają największe cząstki z czoła obłoku (257 μm), a dopiero potem cząstki mniejsze z pozostałych części obłoku, przy czym czas opadania takich samych cząstek może być różny, w zależności od mocy wybuchu i prędkości wiatru. Model zakłada geometryczny rozkład cząstek opadu, które stanowią o stopniu skażenia terenu. Aby to opisać w sposób matematyczny trzeba uwzględnić wszystkie podstawowe zależności opadu w czasie i przestrzeni, takie jak: geometrię pnia (podstawy) obłoku i obłoku właściwego, szybkość opadania cząstek, prędkość wiatru, radioaktywność, wielkość i dystrybucję cząstek obłoku oraz moc wybuchu⁵⁶.

Kształt obszaru skażonego stanowi jakby „cień” obłoku, który przemieszczał się nad danym obszarem, chociaż szerokość skażenia jest dużo większa niż sze-

52 *Meteorology and Atomic Energy*, Weather Bureau, Washington 1955; *Метеорология и атомная энергия*, ред. Е. Федоров, Издательство Иностранная литература, Москва 1959.

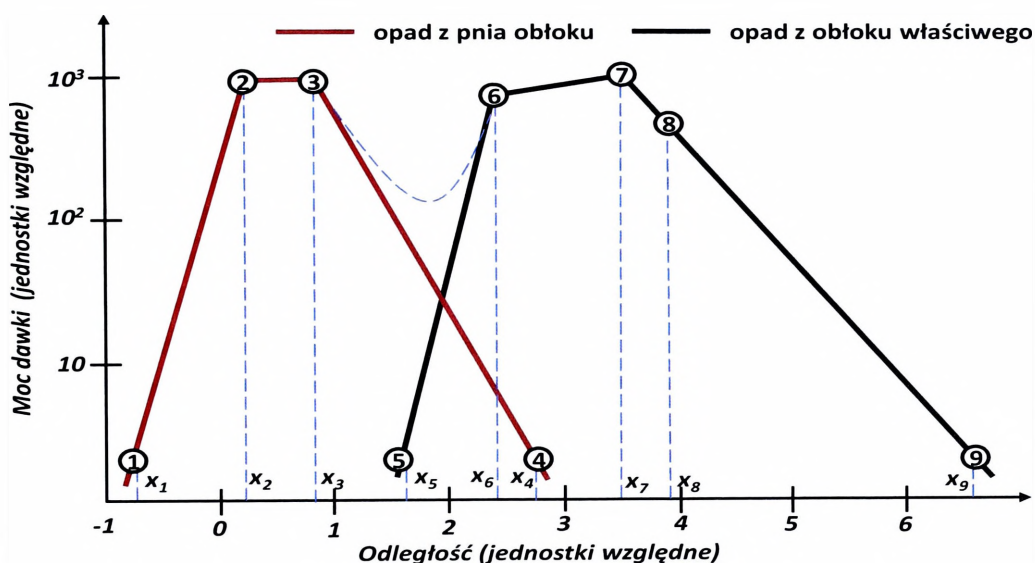
53 *Боевые свойства ядерного оружия*, Военное Издательство Министерства Обороны СССР, Москва 1967; В.Н. Тимофеев, *Прогнозирование радиоактивного заражения*, Издательство ИГ, Москва 1969.

54 C.F. Miller, *Fallout and radiological Countermeasures – Volume 1*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1963.

55 C.F. Miller, *Biological and Radiological Effects of Fallout from Nuclear Explosions*, Chapter 1: *The Nature of fallout*, Chapter 2: *Formation of Fallout Particles*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1964.

56 Zob. C.F. Miller, *Biological and Radiological Effects of Fallout from Nuclear Explosions*, Chapter 3: *Distribution of Local Fallout*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1964.

rokość samego obłoku. Istotne znaczenie ma także fakt, że podczas kalkulacji wykonuje się odwzorowanie opadu oddzielnie z pnia obłoku oraz z obłoku właściwego. W ten sposób można wyróżnić szczyty promieniowania i tzw. „grzbiet” mocy dawki wytworzony przez opad z pnia obłoku. Ilustrację tego procesu przedstawiono na rysunku 7.



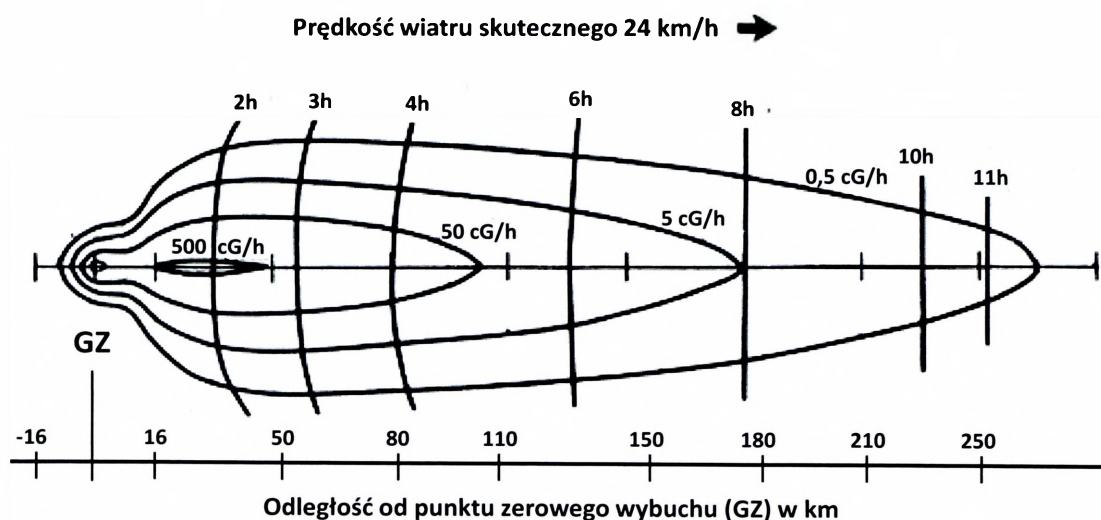
Źródło: opracowanie własne na podstawie: C.F. Miller, *Fallout and Radiological Countermeasures*, wyd. cyt., s. 233; Z. Michalak, *Analityczny opis rzeczywistego rozkładu promieniotwórczego skażenia terenu*, załączniki do rozprawy doktorskiej, WAT 1976, s. 39.

Rysunek 7. Rozkład mocy dawki na osi śladu obłoku

Na rysunku 7 zaznaczono charakterystyczne punkty (od 1 do 9), którym odpowiadają określone odległości (od x_1 do x_9), przy czym łatwo zauważyć, że w odległościach x_1 , x_4 , dla opadu z pnia obłoku i x_5 , x_9 , dla opadu właściwego moc dawki jest najmniejsza i wynosi 1 R/h⁵⁷. Moc dawki w dowolnych innych punktach obszaru skażonego można wyliczyć z odpowiednich wzorów, pod warunkiem, że znamy moc wybuchu i prędkość średniego wiatru.

Po opadzie cząstek radioaktywnych rośnie poziom skażenia, jednak rozpad promieniotwórczy prowadzi do szybkiego zaniku wielu radioizotopów, co znacznie zmniejsza natężenie promieniowania. W międzyczasie jednak, opadają kolejne cząstki, które ponownie zwiększają poziom skażenia. W efekcie rzeczywiste odwzorowanie stref skażonych, uwzględniające dokładny kształt, zasięg i poziom skażenia jest bardzo trudne, dlatego do celów prognozowania przyjmuje się wyidealizowane kontury skażenia o eliptycznym kształcie. Przykład konturów skażenia dla wybuchu o mocy 500 kt, przy wietrze 24 km/h przedstawiono na rysunku 8.

57 Obecnie zamiast rentgenów stosuje się centigreje, przy czym 1 R = 0,877 cGy.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Attack Environment Manual, What the planer needs to know about Fallout*, Federal Emergency Management Agency, Washington 1987, s. 11.

Rysunek 8. Izolinie mocy dawki według modelu Millera

Przedstawione na rysunku 8 strefy skażenia charakteryzują się pewnymi stałymi zależnościami, do których Miller zaliczył:

- w pobliżu punktu zerowego wybuchu (GZ) występuje bardzo silny wzrost mocy dawki zarówno pod wiatr, jak i w kierunkach poprzecznych;
- wzdłuż osi śladu, w pobliżu punktu zerowego wybuchu występuje tzw. grzbiet mocy dawki, który zanika zgodnie z kierunkiem wiatru, a jego długość jest proporcjonalna do szerokości dolnej podstawy pnia obłoku;
- dla wybuchów o mocy 1 kt–10 kt moc dawki na „grzbiecie” rośnie proporcjonalnie wraz ze wzrostem mocy wybuchu, natomiast dla wybuchów 100 kt–10 Mt jest odwrotnie proporcjonalna;
- odległość, na której występuje maksymalna moc dawki rośnie wraz z mocą wybuchu, podobnie jak maksymalna moc dawki⁵⁸.

Aby wykorzystać możliwości modelu do szacowania strat i zniszczeń na potrzeby obrony cywilnej, model musiał być wyrażony w postaci systemu skalującego, którego parametry były szacowane ze specjalnie dobranych zestawów analitycznych. W modelu dla opadu lokalnego powstałego po wybuchach naziemnych Miller ustanowił kilka podmodeli, w których określa: rodzaj ładunku (broni), przebieg i charakter kondensacji, kształt i objętość obłoku radioaktywnego, sposób dystrybucji cząstek z pnia obłoku i obłoku właściwego, sposób i zakres skażenia wewnętrznego i zewnętrznego, wrażliwość organizmów żywych na dawki

58 C.F. Miller, *Fallout and Radiological Countermeasures*, wyd. cyt., s. 229–230.

promieniowania, zasoby (bazy danych) wykorzystywane w modelu oraz procedury określające czas, zakres oraz dystrybucję środków i informacji⁵⁹.

W rezultacie metoda Millera była w swoim czasie jedną z najbardziej rozbudowanych metod umożliwiających dość poprawne prognozowanie opadu promieniotwórczego. Zapewniała przy tym możliwość graficznego odwzorowania skażenia terenu w postaci izolinii konkretnych wartości mocy dawki, a także określenie wielkości mocy dawki w dowolnym punkcie terenu skażonego. Dodatkowo pozwalała też na kalkulacje zmian wielkości mocy dawki oraz obliczanie czasu wypadania pyłu promieniotwórczego w dowolnych punktach terenu.

Metoda Glasstone'a, to stosunkowo dobrze znana metoda prognozowania opadu promieniotwórczego, która znalazła swoje miejsce w podręczniku *The Effects of Nuclear Weapons*⁶⁰, przez co nazywana jest czasem metodą ENW⁶¹. W rzeczywistości, w opracowaniu Glasstone'a pojawia się kilka metod, które w zależności od stopnia zaawansowania mogą być stosowane do różnych celów. Przedstawiając je od największego do najmniejszego stopnia złożoności są to: matematyczny model opadu, metoda analogowa, przewidywanie sektora niebezpieczeństwa oraz model opadu przypuszczalny (*idealized fallout pattern*)⁶².

Pierwszy model wykorzystuje matematyczne zależności służące do określenia charakteru cząstek opadu oraz sposobu ich wypadania w różnych, często bardzo skrajnych warunkach. Oceniany jest także efekt tego wypadania, który przekłada się na możliwość dokładnego określenia mocy dawki w dowolnym czasie i w jakimkolwiek miejscu skażonego terenu. Aby tego dokonać matematyczne modele opadu muszą uwzględniać jak najwięcej zmiennych, wśród których za najważniejsze uznano:

- parametry wiatru, a w zasadzie ich zmienność w pionie, poziomie i w czasie;
- wstępny rozkład cząstek w przestrzeni;
- frakcjonowanie cząstek opadu;
- szybkość opadania cząstek opadu w zależności od ich kształtu, wielkości oraz ciężaru;
- zjawiska dyfuzji i turbulencji w atmosferze, które w innych metodach często są odrzucane, jako nieistotne lub zbyt skomplikowane⁶³.

59 C.F. Miller, *Fallout Models and Radiological Countermeasures Evaluations*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1965, s. 3–12.

60 S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, wyd. cyt.

61 Jej pierwowzorem były rozwiązania opracowane w Air Force Intelligence Center (AFCIN).

62 S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, wyd. cyt, s. 422.

63 D.W.W. Kellog, *Atmospheric Transport and Close-In Fallout of Radioactive Debris from Atomic Explosions* [w:] *The Nature of Radioactive Fallout and its Effects on Man*, Hearings before the Special Subcommittee on Radiation of the Joint Committee on Atomic Energy Congress of The United States, Washington, May 27–29 and June 3, 1957, s. 109.

Opracowane modele służą potem jako wzorzec (baza wyjściowa) w metodach analogowych lub wszelkich innych, w których nie ma możliwości zastosowania skomplikowanych algorytmów obliczeniowych lub techniki komputerowej najnowszej generacji.

Metody analogowe to modele zapożyczone z powszechnie stosowanych prognoz pogody, w których procedura przewidywania polega na wyszukiwaniu konkretnych przypadków, występujących w przeszłości i ich dopasowywaniu do podobnej sytuacji, która jest obecnie lub wkrótce wystąpi. Trzeba jednak wyraźnie zaznaczyć, że tego typu porównanie jest możliwe tylko w sytuacji, gdy dysponujemy odpowiednio szeroką bazą danych, zapewniającą dopasowanie wielu różnych przypadków. W przypadku prognozowania skutków opadu promieniotwórczego taką bazą są prognozy wykonane na użytek doświadczalnych prób jądrowych, które mogą być zebrane w formie swoistego katalogu⁶⁴ lub przedstawione w opisach poszczególnych testów⁶⁵.

Aby wykorzystać takie dane muszą one obejmować wiele różnorodnych przykładów, różniących się nie tylko mocą wybuchu, ale także jego rodzajem, wysokością, stosunkiem rozszczepienie/synteza oraz wszelkimi możliwymi parametrami wiatru. Stosując analogię, znalezienie „właściwego” przypadku w katalogu umożliwi nam potem wykreślenie konturów prognozowanego opadu i dokonanie niezbędnych kalkulacji.

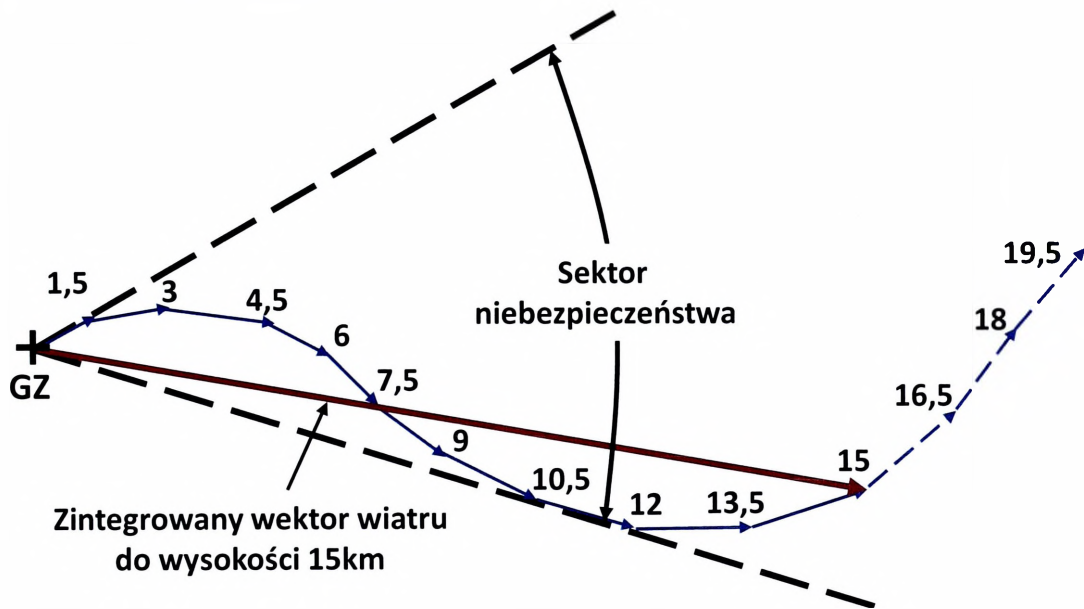
Przewidywanie sektora niebezpieczeństwa to stosunkowo prosta metoda polegająca na wykorzystaniu odpowiednich parametrów wiatru do określenia obszaru, w którym opad jest najbardziej prawdopodobny. Graficzną interpretację tej metody przedstawiono na rysunku 9.

Informacje przedstawione na rysunku 9 pozwalają wysnuć wniosek, że do określenia sektora niebezpieczeństwa niezbędne są dane o kierunku i prędkości wiatru w poszczególnych warstwach atmosfery oraz o maksymalnej wysokości wzniesienia obłoku. Metoda ta, choć bardzo prosta pozwala na ustalenie kierunku rozprzestrzeniania się opadu radioaktywnego oraz wskazanie potencjalnie zagrożonych obszarów. To zaś zapewnia pewne minimum niezbędne do ostrzeżenia ludności o zagrożeniu opadem promieniotwórczym. Z drugiej strony, wadą

64 S.M. Greenfield, R.R. Rapp, P.A. Walters, *A Catalog of Fallout Patterns*, The RAND Corporation, Santa Monica 1956.

65 Zob. H.A. Hawthorne (edit.) *Compilation of Local Fallout Data from Test Detonations 1945–1962 Extracted from DASA 1251*, Volume I – *Continental U.S. Tests*, General Electric Company – TEMPO, DNA 1251-1-EX, Washington 1979; H.A. Hawthorne (edit.) *Compilation of Local Fallout Data from Test Detonations 1945–1962 Extracted from DASA 1251*, Volume II – *Oceanic U.S. Tests*, General Electric Company – TEMPO, DNA 1251-2-EX, Washington 1979; M. Morgentkau, R.L. Shewers, *Local Fallout from Nuclear Test Detonations*, Volume II *Compilation of fallout Patterns and Related test Data*, Supplement *Foreign Nuclear Tests*, DASA 1251, U.S. Army Nuclear Defense Laboratory, Edgewood Arsenal 1964.

tej metody jest niemożność określenia mocy dawki promieniowania w poszczególnych punktach obszaru skażonego, a także brak jakiejkolwiek informacji o obszarach bardziej lub mniej skażonych.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: D.W.W. Kellog, *Atmospheric...*, wyd. cyt., s. 108.

Rysunek 9. Wyznaczanie sektora niebezpieczeństwa

Ostatnia wymieniona metoda przypuszczalnych konturów opadu jest główną metodą Glasstone'a i jako taka wymaga bardziej szczegółowego omówienia.

Z danych uzyskanych podczas doświadczalnych prób jądrowych, wykonywanych w *Nevada Test Side*⁶⁶ oraz w *Eniwetok Proving Ground*⁶⁷ wynika, że opad radioaktywny z naziemnych wybuchów jądrowych cechuje się ściśle określonymi parametrami. Można przy tym dostrzec prawidłowość polegającą na tym, że cząstki duże przenoszą znacznie więcej aktywności niż cząstki małe, a ponadto te pierwsze jako znacznie cięższe opadają najszybciej, tworząc rejony silnego skażenia w pobliżu miejsca zerowego wybuchu oraz dużo mniejszego w rejonach znacznie oddalonych. Stwierdzono też, że cząstki małe, zwłaszcza w przypadku wybuchów dużej mocy, mogą przemieszczać się na bardzo duże odległości, co w efekcie powoduje zagrożenie opadem radioaktywnym ogromnych obszarów, nawet 24 godziny po wybuchu.

66 M.M. Weiss, *A Study of Airborne radioactivity at Brookhaven National Laboratory from the Nevada Tests*, Brookhaven National Laboratory, Upton 1953.

67 E.A. Schuert, *A Fallout Forecasting Technique with Results Obtained at The Eniwetok Proving Ground*, U.S. Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco 1957.

Ponadto ustalono, że zasadniczym czynnikiem, który w największym stopniu wpływa na rozkład skażeń na danym obszarze są parametry wiatrów, występujące w poszczególnych warstwach atmosfery od powierzchni ziemi do górnej granicy obłoku. Panuje przy tym zasada, że wzrost prędkości wiatru wydłuża zasięg skażenia, a ponadto obniża moc dawki w pobliżu punktu zerowego wybuchu, zwiększając ją na dalszych odległościach. Gdy prędkość wiatru maleje to wszystkie wymienione zależności mają charakter dokładnie odwrotny.

Oprócz prędkości wiatru istotny jest także jego kierunek, gdyż wszelkie jego zmiany (zwiększenie kąta) będą powodować istotne rozszerzenie strefy opadu, przy jednoczesnym zmniejszeniu mocy dawki. Dokładna ocena kierunku i prędkości przemieszczania opadu radioaktywnego nie jest możliwa bez szczegółowego rozpatrzenia warunków wiatru we wszystkich warstwach rozprzestrzeniania się obłoku, jednak na potrzeby opracowania przypuszczalnych konturów opadu przyjęto stosować tzw. „wiatr skuteczny”. Według Glasstone’a wiatr skuteczny oblicza się poprzez wykonanie dwóch czynności⁶⁸. Po pierwsze należy określić średni wiatr między podłożem a podstawą obłoku, a następnie między podłożem a górną krawędzią obłoku. Wyliczone parametry wiatrów należy potem uśrednić, otrzymując prędkość i kierunek wiatru skutecznego. W rzeczywistości takie warunki będą rzadko spotykane, jednak na potrzeby prognozowania opadu w większości przypadków są całkiem wystarczające.

Korzystając z wyników uzyskanych podczas testów jądrowych opracowano przypuszczalne kontury opadów różnych wybuchów, które wyrażono w postaci izolinii mocy dawki lub dawki⁶⁹. Wykonano je osobno dla różnych czasów po wybuchu, co pozwala na szczegółową analizę tempa rozwoju promieniotwórczego skażenia terenu oraz określenie stopnia napromienienia wojsk i ludności cywilnej. Takie podejście, choć przydatne nie jest zbyt wygodne, gdyż wykonywanie nowych konturów dla każdego czasu po wybuchu wydaje się zbyt pracochłonne, a przez to niecelowe. Aby zlikwidować tę niedogodność zaproponowano odwzorowanie konturów mocy dawki w odniesieniu do referencyjnej jednostki czasu⁷⁰, którą ustalono na 1 godzinę po wybuchu.

Podczas obliczeń korzysta się z szeregu tablic i wzorów, dzięki którym można wyliczyć wartości dawki i mocy dawki w ustalonym miejscu, w dowolnym czasie po wybuchu. Wszystkie kalkulecje są jednak słuszne tylko w sytuacji, gdy nie było istotnych zmian kierunku wiatru, dotyczą otwartego terenu i gładkiej powierzchni,

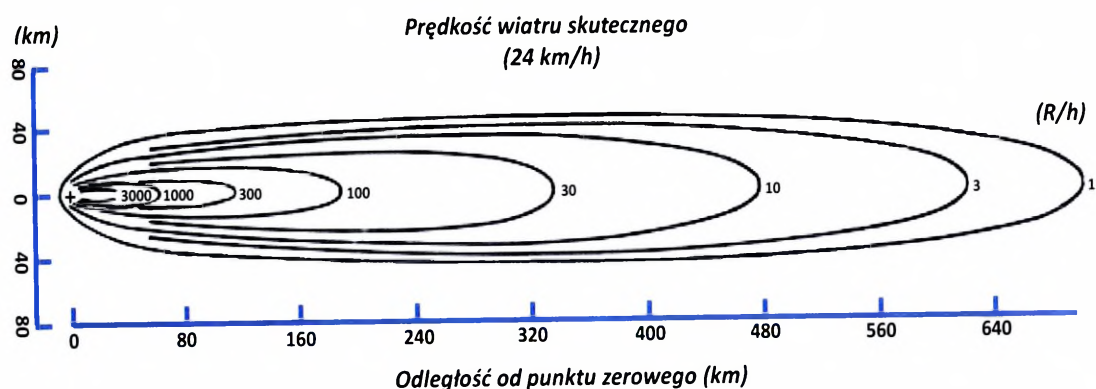
68 S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, 1977, wyd. cyt., s. 423.

69 Tamże, s. 425–426.

70 W kalkulecjach dotyczących obliczania dawki i mocy dawki na śladzie obłoku wygodnie jest odnosić się do ustalonej wcześniej (referencyjnej) jednostki czasu, przy czym czas może być wyrażany w minutach, godzinach, dniach, miesiącach lub latach.

a opad promieniotwórczy już się zakończył. Warto też dodać, że kształt i wielkość konturów opadu są bezpośrednią pochodną mocy wybuchu, natomiast moc dawki jest określona przez tę część energii ładunku, która pochodzi wyłącznie z reakcji z rozszczepienia. W przypadku, gdy prognoza dotyczy ładunków termojądrowych, do otrzymania prawidłowych wyników, konieczne jest, aby poszczególne wielkości mocy dawki pomnożyć przez współczynnik rozszczepienie/synteza.

Przykład przypuszczalnych konturów mocy dawki wykonanych w stosunku do megatonowego wybuchu naziemnego o stosunku rozszczepienie/synteza równym 100% przedstawiono na rysunku 10.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. Glasstone, *The Effects of Nuclear Weapons*, U.S. Department of Defense, U.S. Atomic Energy Commission, Washington 1962, s. 449.

Rysunek 10. Przypuszczalne kontury mocy dawki opadu lokalnego po wybuchu naziemnym ładunku rozszczepialnego o mocy 1 Mt

Pewnym problemem podczas określania przypuszczalnych konturów mocy dawki jest konieczność przeliczania wszystkich danych w stosunku do ładunków różnej mocy. Aby tego uniknąć można posłużyć się tabelą, w której moc podstawiamy za „W”, korzystając przy tym ze stosownych przeliczników.

Sposób obliczania parametrów konturów obłok może skłaniać do wniosku, że jest to poważne ułatwienie, pozwalające na uniknięcie żmudnych i nie zawsze dokładnych metod graficznych. Jednak porównując przypuszczalne kontury mocy dawki z rysunku 10 z danymi obliczonymi według wzorów z tabeli 18 konkluzje są nieco inne. Okazuje się, że wymiary konturu wyliczone z tabeli są zdecydowanie większe niż te przedstawione na rysunku. W tym miejscu trudno jednak rozstrzygnąć, które z rozwiązań jest bardziej prawdopodobne, a także skąd się wzięły aż takie różnice⁷¹.

⁷¹ Można tylko przypuszczać, że bardziej prawidłowe są dane tabelaryczne, bo pochodzą z trzeciej edycji książki z 1977 roku, natomiast graficzna interpretacja konturów mocy dawki pochodzi z 1962 roku.

Przeliczniki do określania referencyjnych konturów mocy dawki dla naziemnych wybuchów jądrowych różnej mocy przy wietrze 24 km/h

Referencyjna moc dawki (cGy/h)	Zasięg śladu obłoku dla określonej mocy dawki (km)	Maksymalna szerokość śladu obłoku (km)	Szerokość obłoku w punkcie zerowym (km)
3000	1,52 $W^{0,45}$	0,01 $W^{0,86}$	0,042 $W^{0,58}$
1000	2,88 $W^{0,45}$	0,05 $W^{0,76}$	0,096 $W^{0,57}$
300	7,20 $W^{0,45}$	0,21 $W^{0,66}$	0,320 $W^{0,48}$
100	14,2 $W^{0,45}$	0,61 $W^{0,60}$	0,624 $W^{0,42}$
30	25,6 $W^{0,45}$	1,22 $W^{0,56}$	0,848 $W^{0,41}$
10	38,4 $W^{0,45}$	2,24 $W^{0,53}$	1,088 $W^{0,41}$
3	48,0 $W^{0,45}$	3,52 $W^{0,50}$	1,424 $W^{0,41}$
1	64,0 $W^{0,45}$	5,28 $W^{0,48}$	2,400 $W^{0,41}$

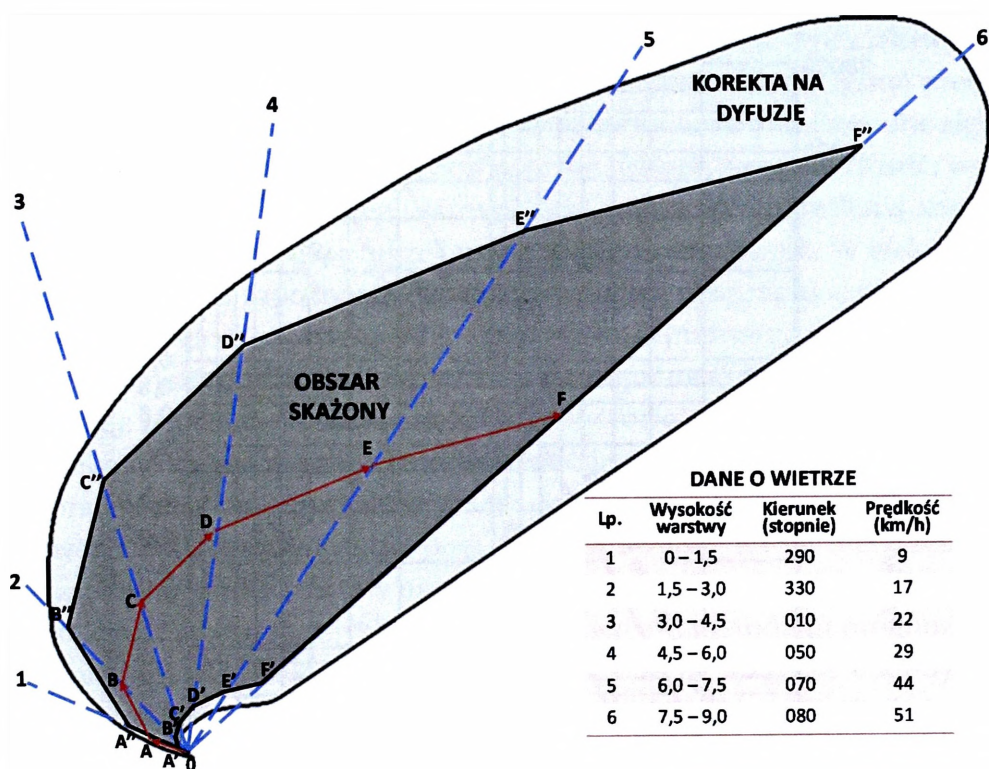
Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, 1977, wyd. cyt, s. 430.

Analizując rysunek 10 można by zakładać, że opad w kierunku przeciwnym do kierunku wiatru nie jest rozpatrywany. Tak jednak nie jest, gdyż tego typu kalkulacje także są wykonywane, przy czym zakłada się, że rozmiar i charakter opadu pod wiatr będzie zależał od zasięgu obłoku od strony zawietrznej, czasu niezbędnego na dotarcie cząstek do ziemi i wiatru skutecznego.

Podsumowując, warto przytoczyć konkluzję samego autora, który stwierdza, że chociaż przypuszczalny model opadu umożliwi dokonywanie pewnych kalkulacji, to jednak ma również szereg ograniczeń, które zawężają jego użyteczność wyłącznie do celów planistycznych. W efekcie jego użycie na potrzeby działań bojowych lub ostrzegania ludności nie jest ani zasadne ani praktyczne.

Metoda hodografu, to bardzo specyficzna metoda, która opracowana została przez U.S. Weather Bureau w latach 50. W swoich założeniach zakładała, że model skażenia zależy przede wszystkim od prędkości i kierunku wiatru w warstwach atmosfery, w których formuje się i przemieszcza obłok promieniotwórczy, a ponadto od rozmiarów i ciężkości cząstek radioaktywnych, które opadając w różnym tempie, staną się źródłem skażenia. Model różni się od wszystkich innych, znanych modeli tym, iż nie przedstawia konturów mocy dawki lub dawki, lecz kontury obszaru, na którym dojdzie do wypadania cząstek radioaktywnych o ustalonej wielkości. Można przy tym dokładnie wskazać miejsca, gdzie będą wypadały cząstki ciężkie, średnie i lekkie ze wszystkich rozpatrywanych wysokości przemieszczania się obłoku. Co ciekawe, ciężar i wielkość cząstek można dowolnie dobierać w zależności od potrzeb. Model pozwala też na określenie tempa przemieszczania się opadu i wskazanie miejsca, w którym się on pojawi po

dowolnie wybranym czasie. Przykładowy rozkład skażenia dla cząstek o wielkości od 50 μm do 150 μm , dla określonych parametrów wiatru przedstawiono na rysunku 11.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Meteorology and Atomic Energy*, wyd. cyt, s. 78-80.

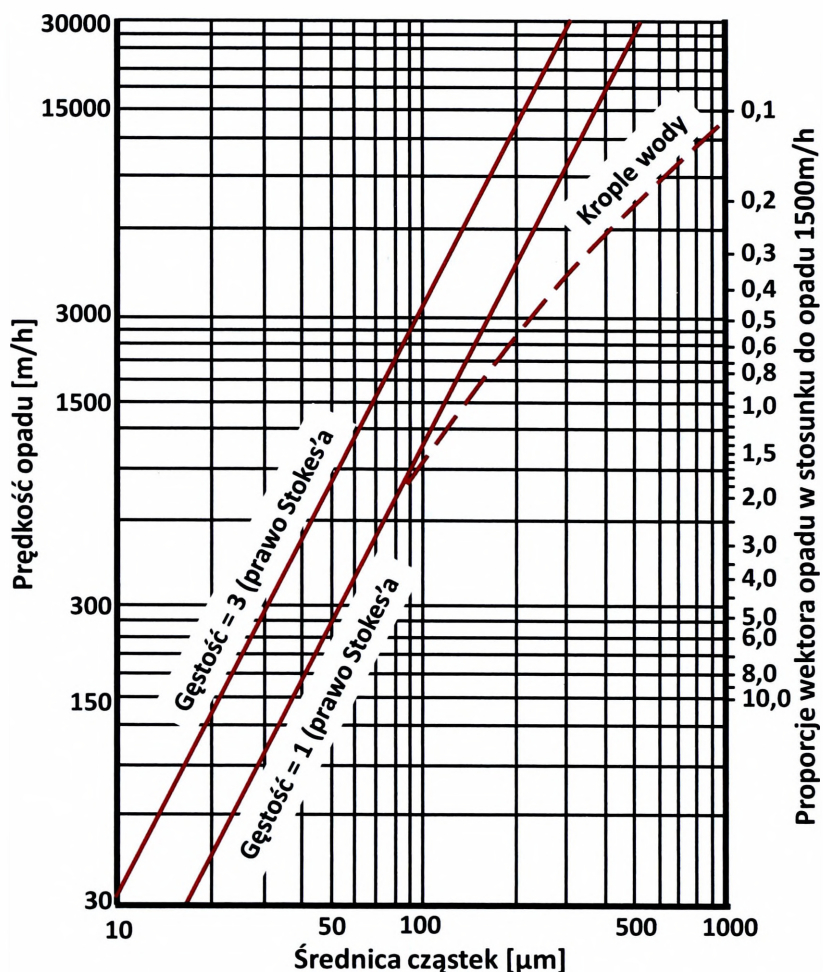
Rysunek 11. Kontury opadu według metody hodografu

Przedstawione podejście do prognozowania skażeń całkowicie odbiega od tego, z czym mamy do czynienia w innych metodach. Mimo to daje pewne dodatkowe możliwości, których nie znajdziemy w innych metodach.

Na przykład, jeśli dojdzie do przemieszczania cząstek radioaktywnych w wyniku dyfuzji, wówczas punkty A'-F' oraz A''-F'' przesuwamy, zwiększając ich odległość od punktu zerowego wybuchu według zasady, że na każde 7 jednostek odległości następuje jej wzrost o jedną jednostkę.

Inną przydatną funkcją jest możliwość wskazania miejsca, w którym nastąpi wypadanie cząstek z konkretnej warstwy atmosfery. Jest to przydatne na przykład w okolicznościach, gdy największa część aktywności pochodzi z obłoku właściwego (w omawianym przypadku z warstw 6-9 km) i chcemy wiedzieć gdzie nastąpi opad właśnie tych cząstek. W takiej sytuacji możemy ustalić, że opad i zarazem największe skażenie pojawi się w obszarze ograniczonym punktami D'-D'' - F''-F', czyli w pewnej odległości od punktu zerowego wybuchu.

W omawianym przykładzie kontury opadu zostały określone dla cząstek radioaktywnych o wielkości 50–150 μm . Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby taką prognozę opracować dla cząstek o innej wielkości. Do tego celu korzystamy z nomogramu przedstawionego na rysunku 12.



Źródło: *Meteorology and Atomic Energy*, wyd. cyt, s. 80.

Rysunek 12. Nomogram do wykreślenia konturów opadu metodą hodografu

Nomogram daje nam jeszcze jedną przydatną możliwość, polegającą na wyliczeniu konturów opadu w przypadku, gdy wystąpią opady. W tym celu wykorzystujemy przerywaną linię z nomogramu pod warunkiem, że wielkość kropeł deszczu jest nam znana.

Metoda hodografu z pewnością nie jest najlepszą metodą prognozowania skutków opadu promieniotwórczego, ale mimo to zapewnia określone możliwo-

ści, które w pewnych warunkach mogą być użyteczne. Analiza literatury⁷² skłania jednak do wniosku, że praktyczne zastosowanie tej metody jest niewielkie i chyba takie już pozostanie.

Metody prognozowania skażeń przedstawione do tej pory pochodzą z wczesnego okresu fascynacji energią jądrową i jako takie stanowią dziś ciekawy materiał do rozważań nad możliwościami ówczesnej, a także współczesnej predykcji skażeń jądrowych. Jak wykazano, metody te wykorzystywały różnorodne algorytmy i procedury postępowania prognostycznego, jednak pomimo różnic, wszystkie zmierzały do osiągnięcia tego samego celu, jakim było określenie konturów opadu promieniotwórczego, a także innych przydatnych danych. W efekcie każda z metod umożliwiała zapoznanie decydenta z ogólną sytuacją skażeń, co w wielu wypadkach było kluczowym aspektem procesu podejmowania decyzji.

Przez lata metody predykcji skażeń ulegały stopniowej ewolucji, w trakcie której były ciągle zmieniane, doskonalone i coraz bardziej dopracowane. Pojawiły się też stosunkowo proste metody, które okazały się szczególnie przydatne do szybkiego opracowania prognozy skażeń oraz do podejmowania właściwych decyzji związanych z ostrzeganiem zagrożonej ludności i wojsk. Wśród nich szczególnie ważne są dwie metody, których nie sposób zignorować, gdyż powstały w ZSRR i Stanach Zjednoczonych, szybko stając się głównymi metodami prognozowania skażeń państw Układu Warszawskiego i NATO. Są to rosyjskie metody „stref-elips” oraz metoda „armii wojsk USA”, znana obecnie jako ATP-45. Aby je lepiej poznać i porównać warto przedstawić ich krótką charakterystykę.

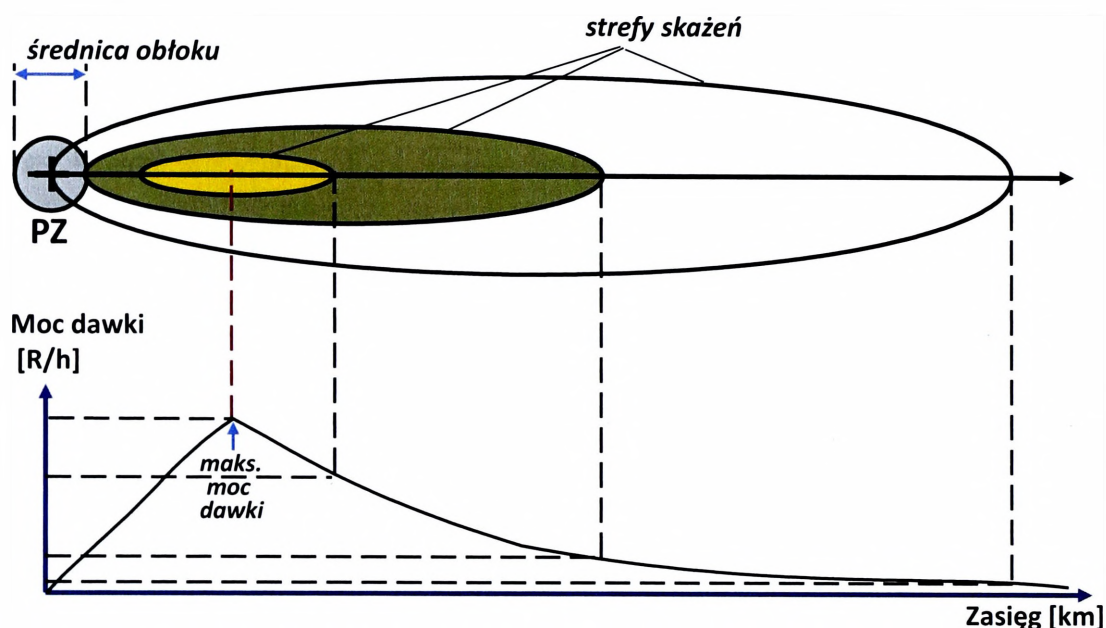
Metody stref-elips, bo było ich kilka, powstawały w latach 1956, 1960 i 1963 z wieloma późniejszymi zmianami i poprawkami. Były stosowane nie tylko w ZSRR, ale także we wszystkich państwach członkowskich Układu Warszawskiego, co oznaczało, że ich użyteczność była skierowana na wykorzystanie w warunkach rzeczywistego użycia broni jądrowej. Bojowe zastosowanie wykluczało jednak wykorzystanie skomplikowanych obliczeń matematycznych, a tym bardziej jakiegokolwiek, zaawansowanej techniki obliczeniowej. Metoda musiała być na tyle prosta, aby każdy w miarę przygotowany żołnierz był w stanie dokonać odpowiednich obliczeń i przygotować prognozę w dość ograniczonym czasie. W praktyce polegało to na wykorzystaniu odpowiednio przygotowanych tabel, w których znalazły się wszelkie niezbędne dane i wyliczenia, dla wszystkich rodzajów wybuchów jądrowych i wymaganych parametrów wiatru.

Z dzisiejszej perspektywy głębsza analiza wiarygodności wszystkich zawartych tam danych oraz zasadności ich użycia jest niecelowa. Wynika to z dwóch powodów, po pierwsze charakterystyka i uzasadnienie większości danych, z różnych względów, nie są dziś dostępne, a po drugie metody te przez lata przeszły

72 W zasadzie brak kolejnych opracowań na ten temat.

długi proces ewolucji, co oznacza, że dzisiaj znaczna część tych danych jest już przestarzała, a przez to całkowicie nieprzydatna. Mimo to warto przedstawić istotę tych metod oraz omówić ich podstawową charakterystykę.

Pierwsze dwie metody (z lat 1957 i 1960) są metodami, w których istotą wizualizacji skażenia są izolinie mocy dawki, które dokładnie wskazują, jaka jest moc dawki na granicy poszczególnych stref na śladzie obłoku⁷³. Oprócz tego, korzystając z odpowiednich tabel i wzorów istnieje możliwość wyliczenia mocy dawki w dowolnym miejscu rejonu skażonego⁷⁴. Graficzną interpretację stref skażeń, utworzonych przy pomocy metod z lat 1957–1960 przedstawiono na rysunku 13.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. Denus, *Prognozowanie opadu promieniotwórczego...*, wyd. cyt. s. 28.

Rysunek 13. Wyznaczanie stref skażeń według metod rosyjskich

Na rysunku 13 wyraźnie widać granice poszczególnych stref skażeń oraz obszar, w którym moc dawki przyjmuje najwyższe wartości, przy czym ustalono, że do wykonania prognozy tą metodą konieczne są następujące dane: czas i współrzędne wybuchu, jego moc oraz parametry wiatru w górnych warstwach atmosfery⁷⁵. Taki sposób interpretacji stref skażeń okazał się mało wygodny i w 1963 roku został zastąpiony kolejną metodą, w której strefy zostały nazwane kolejnymi

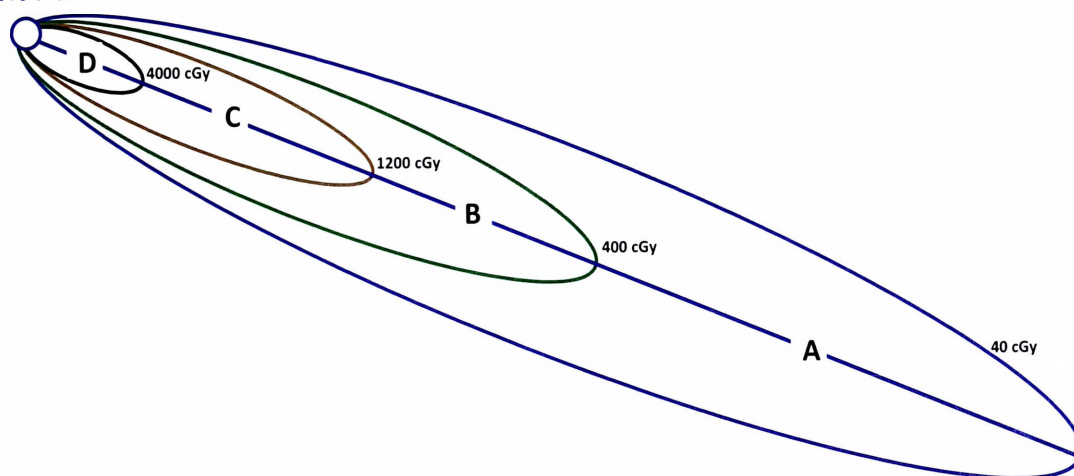
73 *Справочник по боевым свойствам атомного оружия и средствам противатомной защите*, Военное Издательство Министерства Обороны, Москва 1957.

74 *Таблицы для определения радиоактивного заражения местности при атомных взрывах*, Военное Издательство Министерства Обороны, Москва 1960.

75 S. Denus, *Prognozowanie opadu promieniotwórczego...*, wyd. cyt., s. 26.

literami alfabetu A, B, C (w instrukcjach rosyjskich odpowiednio: A, Б, В). Po jakimś czasie uznano, iż strefy skażeń należy mocniej zróżnicować, dodając kolejną strefę D (Г)⁷⁶. W rezultacie, w metodzie stref-elips wyróżnia się cztery następujące strefy: A – umiarkowanego skażenia (*умеренного заражения*); B (Б) – silnego skażenia (*сильного заражения*); C (В) – niebezpiecznego skażenia (*опасного заражения*) oraz D (Г) – szczególnie niebezpiecznego skażenia (*чрезвычайно опасного заражения*)⁷⁷. Sposób wrysowania poszczególnych stref skażeń przedstawiono na rysunku 14.

500 - Nz
6.30 5.6



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Методика оценки ситуации...*, wyd. cyt.

Rysunek 14. Wyznaczanie stref skażeń metodą stref-elips

Z informacji przedstawionych na rysunku 14 wynika, że istotną zmianą, w stosunku do poprzednich rozwiązań była inna interpretacja stref skażeń, w których moc dawki określającą granice stref skażeń zamieniono na dawkę pochłoniętą w całkowitym, nieskończonym okresie przebywania⁷⁸. Sposób wyznaczania stref skażonych jest bardzo prosty i polega na wykorzystaniu odpowiednich wartości, które znajdziemy w odpowiednich tabelach tej metody. Przykład określania długości i szerokości stref skażeń przedstawiono w tabeli 19.

⁷⁶ *Методика оценки ситуации радиотворческой в terenie*, MON, Warszawa 1991.

⁷⁷ *Защита от оружия массового поражения*, Военное Издательство, Москва 1989, s. 49.

⁷⁸ Oznacza to dawkę promieniowania, którą by pochłonięto podczas przebywania w terenie skażonym od początku wypadania pyłu promieniotwórczego do czasu jego całkowitego rozpadu.

Długość i szerokość stref skażeń (km) na śladzie obłoku

Moc wybuchu (kt)	Prędkość średniego wiatru (km/h)	Strefa skażona			
		A	B	C	D
50	10	68–21	25–11	14–7,3	6,5–4,1
	25	93–16	31–7,1	16–4,5	5,4–1,9
	50	115–12	34–5,1	15–2,9	
	75	130–11	35–4,1	14–1,9	
	100	140–10	35–3,5	11–1,1	
100	10	96–26	37–13	21–8,9	10 –5,4
	25	135–20	46–8,8	24–5,7	6,4–2,9
	50	165–16	52–6,4	24–3,8	
	75	190–14	54–5,2	23–2,9	
	100	205–12	55–4,5	21–2,2	

Źródło: *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie*, wyd. cyt., s. 46.

Dodatkowym bonusem tej metody jest fakt, że poszczególne strefy skażeń uzyskały swoją operacyjną interpretację, według której możliwe jest określanie stopnia utraty zdolności bojowej oraz możliwości przebywania w strefach skażeń.

Zgodnie z tym w **strefie A** w ciągu pierwszych dni nieukryci żołnierze mogą otrzymać dawki powodujące utratę zdolności bojowej. Działając jednak w samochodach i transporterach opancerzonych, a także w rowach, okopach i tranzejach żołnierze powinni być w miarę bezpieczni. Dawka promieniowania w tej strefie mieści się w granicach od 40 cGy do 400 cGy. Ocenia się też, iż poza zewnętrzną granicą tej strefy utrata zdolności bojowej jest wykluczona.

W **strefie B** prawdopodobieństwo porażenia jest znacznie większe, co oznacza, że w terenie odkrytym w ciągu pierwszych dni po opadnięciu substancji promieniotwórczych wszyscy żołnierze mogą utracić zdolność bojową. Pewnym rozwiązaniem może być wykorzystanie transporterów i ukryć, co powinno zapewnić bezpieczeństwo w stopniu wystarczającym. Dawka promieniowania w tej strefie kształtuje się od 400 cGy do 1200 cGy.

W **strefie C** możliwe są ciężkie porażenia nieukrytych żołnierzy, nawet podczas krótkotrwałego działania, szczególnie w pierwszych godzinach po wybuchu. Jedynie przebywanie w schronach i ukryciach oraz bardzo krótkotrwałe przebywanie poza nimi wyklucza napromienienie powodujące utratę zdolności bojowej. Dawka promieniowania w tej strefie C waha się w granicach od 1200 cGy do 4000 cGy.

W **strefie D** nawet podczas działania w czołgach i przebywania w murowanych budynkach w ciągu pierwszych godzin po skażeniu żołnierze zostają silnie porażeni. Krótkotrwałe przebywanie poza ukryciami w tej strefie, bez utraty zdolności bojowej, możliwe jest dopiero po tygodniu od wybuchu. Dawka promie-

niowania w tej strefie wynosi od 4000 cGy na zewnętrznej granicy do 7000 cGy w środku strefy.

Wybór dawki zamiast mocy dawki do interpretacji stref skażeń początkowo może się wydawać niezrozumiałym. Okazuje się jednak, że wcale nie jest to złe rozwiązanie, gdyż dzięki temu otrzymujemy „obraz” maksymalnie możliwego skażenia, w którym wiadomo, że w miarę upływu czasu zasięgi poszczególnych stref mogą być tylko mniejsze. To zaś oznacza, że poprzez wskazanie maksymalnych zasięgów skażenia można zdecydować o sposobie przebywania osób w zagrożonych rejonach oraz o ewentualnej konieczności ich opuszczenia. Dodatkowo trzeba wyraźnie zaznaczyć, że sama prognoza stref skażeń i ich wrysowanie to tylko mała część możliwości tej metody. Oprócz tego, korzystając z odpowiednich tabel, można wyliczyć wiele bardzo różnorodnych parametrów określających wielkość, miejsce oraz poziom skażenia i to w dowolnym czasie po wybuchu. Przykładem może być określanie mocy dawki promieniowania na zewnętrznych granicach stref skażonych w określonym czasie po wybuchu. Do tego celu służy tabela 20.

Tabela 20

Średnie moce dawek (cGy/h) na zewnętrznych granicach stref skażonych

Czas po wybuchu	Strefa skażona				Czas po wybuchu	Strefa skażona					
	A	B	C	D		A	B	C	D		
godziny	0,5	18	180	540	1 800	godziny	8	0,65	6,5	20	65
	1	8	80	240	800		10	0,5	5	15	50
	1,5	5	50	150	500		12	0,4	4	12	40
	2	3,5	35	100	350		18	0,3	3	9	30
	3	2,1	21	63	210	doby	1	0,2	2	6	20
	4	1,5	15	45	150		2	0,08	0,8	2,5	8
	5	1,1	11	33	110		3	0,05	0,5	1,5	5
	6	0,9	9	27	90		4	0,04	0,4	1,2	4

Źródło: *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie*, wyd. cyt., s. 110.

Samo podejście do przygotowania prognozy także jest przydatne, gdyż bazując na dwudziestu kilku tabelach, oferuje nam gotowe parametry stref skażeń oraz wiele innych danych, takie jak na przykład: rozmiary i powierzchnie stref skażonych; dawki promieniowania pochłonięte przez nieukrytych żołnierzy; dawki promieniowania pochłonięte przez żołnierzy podczas przekraczania stref skażonych; sumaryczne straty żołnierzy po pochłonięciu określonej dawki promieniowania oraz moce dawek na osi śladu obłoku po godzinie od wybuchu.

Podsumowując można uznać, że metoda, pomimo licznych ograniczeń, oferuje nam całkiem interesujące możliwości, które w połączeniu z dużą szybkością przygotowania prognozy stanowią o jej sile i praktycznej przydatności.

Metoda wojsk USA (obecnie ATP-45) to, podobnie jak metoda stref-elips, rozwiązanie przeznaczone do praktycznego zastosowania na wszystkich szczeblach dowodzenia. Jej podstawy wywodzą się z pierwszych opracowań z końca lat 50., jednak właściwa metoda powstała w 1962 roku, kiedy wydano podręcznik wojsk lądowych TM 3210⁷⁹. Po jakimś czasie, po wprowadzeniu pewnych zmian, podręcznik zamieniono na regulamin polowy FM 3-22⁸⁰, który w 1994 roku został uznany za natowski standard ATP-45⁸¹. Obecnie jest to już jego czwarta edycja, która w dość dużym stopniu różni się od swojego pierwowzoru, jednak część dotycząca predykcji skażeń powstałych w wyniku uderzeń jądrowych zmieniła się niewiele. Polska jako członek NATO także wykorzystuje standard ATP-45, chociaż jest on stosowany w postaci specjalnej metodyki⁸².

Metoda ATP-45 przewiduje dwa sposoby opracowania prognozy, które zależą od dostępu do danych meteorologicznych oraz stopnia szczegółowości prognozy. Metodę szczegółową opracowuje się na wyższych szczeblach dowodzenia, w oparciu o dane zwarte w meldunku o podstawowych parametrach wiatru BWM (*Basic Wind Message*), natomiast metodę uproszczoną stosuje się wszędzie tam, gdzie z pewnych względów nie ma dostępu do pełnych danych meteorologicznych. W takich przypadkach korzysta się z meldunku o wietrze skutecznym EDM (*Effective Downwind Message*). Nazwy obu sposobów przygotowania prognozy mogą sugerować, że jedna z metod jest bardzo trudna i szczegółowa, a druga prosta i nieskomplikowana. W rzeczywistości jedyna różnica polega na tym, iż w metodzie szczegółowej osoba przygotowująca prognozę sama musi określić parametry wiatru skutecznego, natomiast w metodzie uproszczonej wszystkie dane znajdzie w meldunku EDM⁸³. W efekcie wynik prognozy jest taki sam i polega na wykreśleniu konturów dwóch stref, które określają prawdopodobne granice występowania skażeń o znaczeniu militarnym, przy czym wiadomo, że prawdziwy obszar skażenia będzie znacznie mniejszy niż przewiduje prognoza. Takie podejście jest jednak potrzebne, gdyż musi uwzględniać ewentualne błędy w przygotowaniu danych oraz możliwą zmienność pogody.

Strefa I nazywana strefą bezpośredniego zainteresowania operacyjnego oznacza obszar, w którym nieosłonięci żołnierze mogą pochłonąć dawki 150 cGy lub większe w stosunkowo krótkim okresie (poniżej czterech godzin od pojawienia

79 G.H. Decker, J.C. Lambert, *Fallout prediction*, TM 3210, Department of the Army, Washington 1962.

80 *Fallout Prediction*, Department of the Army, FM 3-22, Washington 1973.

81 *Warning and Reporting and Hazard prediction of Chemical, Radiological and Nuclear Incidents*, ATP-45(D), wyd. cyt.

82 *Metodyka oceny sytuacji skażeń chemicznych, biologicznych i promieniotwórczych*, MON, Warszawa 2013.

83 Meldunki EDM tworzy centrum meteorologiczne lub wyznaczone ośrodki analizy skażeń.

się opadu). Spodziewana wielkość napromienienia stwarza niebezpieczeństwo poważnych zakłóceń w działaniach wojsk oraz możliwość wystąpienia licznych porażeń.

Strefa II jest strefą drugorzędного zagrożenia, w której całkowita dawka, jaką nieosłonięci ludzie pochłoną w okresie 4 godzin od wystąpienia opadu promieniotwórczego nie powinna przekroczyć 150 cGy. Jednocześnie zakłada się, że przez pierwsze 24 godziny całkowita dawka jaką pochłonie stan osobowy na pewno przekroczy 50 cGy.

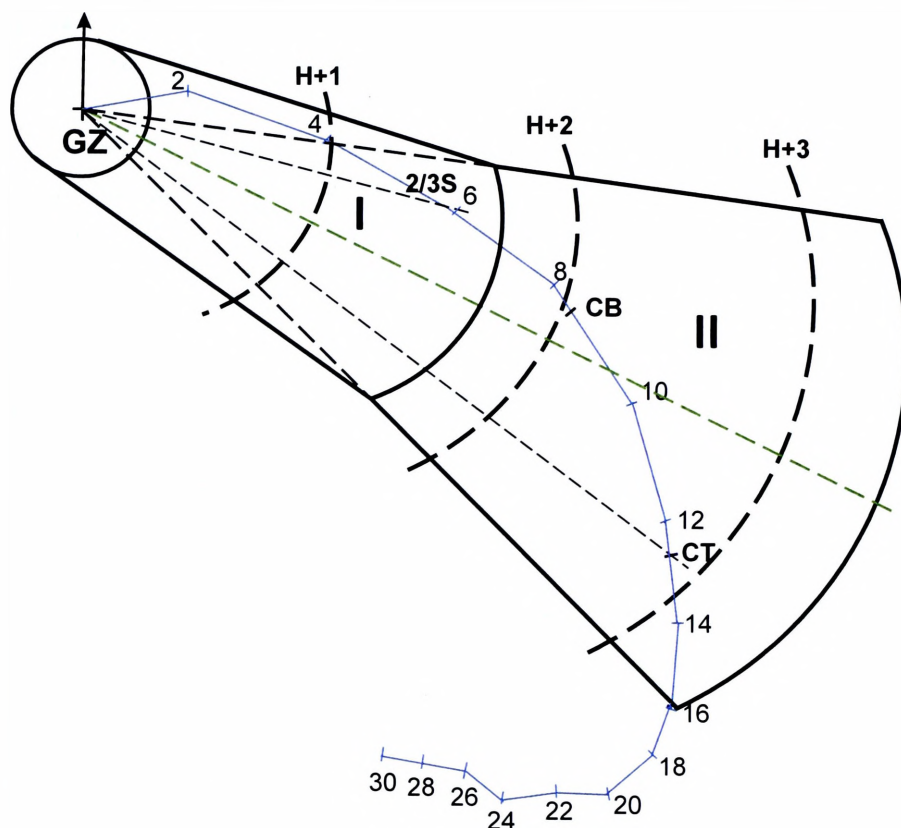
Z przytoczonych definicji wynika, że przebywanie poza strefami wcale nie oznacza braku zagrożenia. Ocenia się, że osoby wystawione na działanie promieniowania w ciągu pierwszych 24 godzin od pojawienia się skażeń mogą pochłonąć dawki promieniowania nie większe niż 50 cGy, natomiast całkowita dawka otrzymana w nieograniczonym czasie nie powinna przekroczyć 150 cGy⁸⁴.

Przygotowanie prognozy według ATP-45 nie powinno trwać dłużej niż kilka – kilkanaście minut, gdyż tylko taki czas zapewnia możliwość podjęcia zdecydowanych działań zaradczych, takich jak: ostrzeżenie, ewakuację czy przygotowanie ukryć. Jednak szybkość przygotowania prognozy to nie wszystko, bowiem aby ją wykonać trzeba dysponować odpowiednim zestawem informacji, z których zasadnicze znaczenie mają: czas, rodzaj i miejsce wybuchu, moc ładunku oraz kierunek i prędkość wiatru w górnych warstwach atmosfery⁸⁵. Kluczowym zadaniem, podczas przygotowania prognozy jest graficzne opracowanie wektora wiatru skutecznego, ustalenie wysokości 2/3 podstawy (pnia) obłoku (2/3S) oraz jego górnej (CT) i dolnej krawędzi (CB). Na tej podstawie można ustalić średnią prędkość wiatru, jego kierunek oraz przewidywaną szerokość strefy. Końcowym etapem jest określenie konturów strefy I i I wraz z promieniem obłoku oraz czasem dojścia obłoku w jednogodzinnych odcinkach czasu. Przykład prognozy wykonanej metodą szczegółową przedstawiono na rysunku 15.

Rysunek przedstawia przykładową prognozę opracowaną dla niewielkiego naziemnego wybuchu jądrowego, o czym świadczy mały zasięg rozprzestrzeniania się obłoku (tylko trzy godziny). W praktyce zasięgi stref skażeń mogą być dużo większe, wynosząc kilkaset kilometrów i skażając ogromne obszary terenu (lub akwenu). Trzeba jednak pamiętać, że taka prognoza przedstawia tylko szacunkową ocenę zagrożenia wykonaną na użytek ostrzeżenia wojsk i ludności. Uważa się, że dzięki niej można wskazać prawdopodobny kierunek rozprzestrzeniania się obłoku i ewentualne miejsca, w których może nastąpić skażenie.

84 Por. *Metodyka oceny sytuacji skażeń...*, wyd. cyt., s. 200.

85 Górne warstwy atmosfery oznaczają 15 dwukilometrowych warstw powietrza (łącznie 30 km), w których zachodzi formowanie obłoku i później jego przemieszczanie.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, wyd. cyt., s. 121–128.

Rysunek 15. Wyznaczanie stref skażeń metodą ATP-45

Metoda ATP-45, podobnie jak rosyjska metoda stref-elips oprócz wrysowania konturów skażenia umożliwia wykonanie szeregu innych kalkulacji, które można wykorzystać do określania bardzo różnych parametrów zagrożenia oraz sposobów ochrony i przeciwdziałania.

Podsumowując przegląd metod prognozowania w kontekście opracowania prognozowanej sytuacji skażeń można uznać, że większość metod, niezależnie od użytych algorytmów, pozwala na przygotowanie obrazu prawdopodobnych skażeń na tyle właściwie, że bezpieczne funkcjonowanie w warunkach użycia broni jądrowej jest możliwe. Taka konkluzja nie oznacza jednak, że użyteczność przedstawionych metod nie pozostawia nic do życzenia, wręcz przeciwnie, metody tego typu są swoistym kompromisem między pełnią informacji, a jej wiarygodnością, a także między dokładnością metody, a szybkością jej opracowania⁸⁶.

⁸⁶ Jest to o tyle istotne, że nawet metody dokładne, które wykorzystują skomplikowane algorytmy prognozowania też się różnią między sobą – zob. S.L. Brown, H. Lee, P.W. Wong, *SEER II: A New Damage Assessment Fallout Model*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1972, s. 46–53.

Biorąc pod uwagę, że dwie z omawianych metod były powszechnie stosowane (i nadal są) w strukturach wojskowych i cywilnych wielu państw, wydaje się celowe, aby dokonać choćby krótkiego ich porównania, zastanawiając się, która z nich jest lepsza, łatwiejsza czy bardziej praktyczna.

3.4. Porównanie metody stref-elips z metodą ATP-45

Każda analiza porównawcza jakichkolwiek metod niesie za sobą pytania: co porównywać, w jakim zakresie i według jakich kryteriów? W przypadku metod prognozowania skażeń jądrowych sytuacja nie jest wcale oczywista, gdyż wielość tych metod oraz ich zróżnicowanie znacznie utrudnia zastosowanie jednolitego podejścia. Mimo to, jak wcześniej wykazano, rosyjska metoda stref-elips oraz natowska metoda ATP-45 są metodami analityczno-graficznymi, przeznaczonymi do wykorzystania na realnym polu walki, w warunkach pełnego użycia broni jądrowej. To z kolei oznacza, że obie metody powinny mieć bardzo podobne możliwości w zakresie określenia konturów śladu obłoku, wykonania stosownych obliczeń oraz czasu ich przygotowania. Według S. Kowalika będzie to możliwe tylko wtedy, gdy do opracowania prognozy uwzględni się wszystkie podstawowe zjawiska i czynniki decydujące o rozkładzie skażeń na powierzchni ziemi. Wyróżnia przy tym m.in.: powstawanie pyłów promieniotwórczych, rozwój kuli ognistej i obłoku promieniotwórczego oraz rozkład przestrzenny substancji promieniotwórczych w momencie zakończenia wznoszenia się obłoku⁸⁷. Takie podejście wynika z jednolitego, w obu przypadkach, celu prognozowania, jakim jest opracowanie wiarygodnej informacji o zagrożeniu, na tyle szybkiej i dokładnej, aby podejmowane decyzje były trafne i skuteczne. W tym miejscu pozostaje nam jeszcze ustalenie szczegółowych kryteriów porównawczych, które jak się wydaje powinny dotyczyć: ilości i jakości przetwarzanych danych, wiarygodności prognozy oraz czasu i prostoty jej wykonania.

Ilość i jakość wykorzystywanych danych wprowadza pewne kontrowersje, które polegają na tym, iż zdobywanie i wstępne przetwarzanie danych wejściowych nie należy do kompetencji osób zaangażowanych w wykonywanie prognozy⁸⁸. Tym samym nie mają oni żadnego wpływu ani na ich ilość, ani na jakość. Wiadomo jednak, że ośrodki analizy skażeń nie działają w odosobnieniu, lecz stanowią jedno z istotnych ogniw systemu wykrywania skażeń i jako takie funkcjonują

87 S. Kowalik, *Analityczna metoda wyznaczania przewidywanego rozkładu skażenia powierzchni ziemi po wybuchu jądrowym*, WAT, Warszawa 1972, s. 8.

88 Inaczej jest podczas testów jądrowych, gdzie pomiary, prognozy i planowanie testu jest wspólnym wysiłkiem danego projektu.

razem z pozostałymi jego elementami⁸⁹. Z tego powodu, tego typu metody prognozowania skażeń należy rozpatrywać wyłącznie w kontekście działalności całego systemu, gdyż tylko wtedy będzie on skuteczny.

Dla porządku warto jednak zaznaczyć, że w obu metodach (systemach) sposób pozyskiwania i dystrybucji danych wejściowych jest bardzo podobny i polega na wykorzystaniu tzw. źródeł informacji, funkcjonujących w sieci rozpoznania i monitoringu skażeń, czasem uzupełnianych przez jednostki pobierania próbek i laboratoria analityczne. Ich zadaniem jest określenie rodzaju, mocy, czasu i miejsca wybuchu, a czasem także innych, bardziej szczegółowych parametrów, np. szerokości i wysokości kątowej obłoku promieniotwórczego. Dodatkowo, bardzo istotną rolę pełnią ośrodki meteorologiczne, które w zależności od zakresu działania przygotowują i dostarczają stosowne dane, dotyczące głównie kierunków i prędkości wiatrów w górnych warstwach atmosfery. Wiadomo jednak, że takie proste metody nie będą uwzględniały wszystkich możliwych zmiennych wejściowych, zwłaszcza tych, które wymagają mocno specjalistycznych sposobów ich pozyskiwania. Wśród nich warto choćby wspomnieć o prędkości i miejscu opadania pyłów, a także ich aktywności, w kontekście czasu, frakcji i wysokości przemieszczania obłoku. Inną sprawą są dane, których po prostu nie możemy znać, bo bezpośrednio zależą od parametrów konstrukcyjnych użytej broni oraz sposobu jej użycia. Takie dane, jak: dokładna wysokość wybuchu (HOB – *height of burst*) oraz stosunek FY/TY (*fission yield – total yield*) są znane wyłącznie stronie wykonującej uderzenie, trudno więc zakładać, że będą dla nas kiedykolwiek dostępne⁹⁰.

Wiarygodność to kolejne kryterium porównawcze, które jak wiadomo w największym stopniu decyduje o ostatecznej przydatności każdej prognozy. Prognoza niewiarygodna (błędna, nieprawdziwa) nie tylko nie pomaga w podejmowaniu decyzji, ale ją wręcz utrudnia, stwarzając zagrożenie dla osób, które są w obszarach skażonych lub wkrótce się w nich znajdą. Z drugiej strony ustalono też, że prognozy analityczno-graficzne, ze względu na liczne ograniczenia, nigdy nie zapewnią dużej dokładności odwzorowania konturów skażenia i spodziewanych mocy dawki⁹¹. Ten dysonans powoduje, że porównanie obu metod warto jeszcze bardziej uszczegółowić. Wydaje się, że najlepsze rezultaty otrzymamy podczas porównania takich elementów jak: liczba i charakter stref skażeń, ich kształt i wymiary oraz sposób określania osi śladu obłoku⁹².

89 Zob. rozdział 1.

90 H. Lee, R.W. Millican, W.F. Hardman, *Present and Future Capabilities for Battlefield Radiation Hazard Assessment*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1973, s. 9.

91 H.A. Hawthorne, *Fallout Hazard Prediction Inconsistencies*, wyd. cyt.

92 S. Denus, *Prognozowanie opadu promieniotwórczego...*, wyd. cyt., s. 41–44.

Zaczynając od stref skażeń łatwo zauważyć, że w obu metodach zastosowano zupełnie inne podejście zarówno jeśli chodzi o ich liczbę, jak i charakter. W ATP-45 wyróżnia się tylko dwie strefy, definiując je przy pomocy dawki promieniowania, jaką mogą otrzymać żołnierze przebywający w niej w okresie do 4 lub 24 godzin. Wydaje się, że jest to całkiem dobre podejście do problemu, gdyż raczej rzadko będziemy sporządzać prognozę kilka lub kilkanaście dni po wybuchu jądrowym, a jeśli nawet, to z powodu bardzo szybkiego rozpadu, będzie ona miała zupełnie inny charakter.

Dla odmiany w metodzie stref-elips wyróżniamy aż cztery strefy skażeń (A, B, C, D), których granice określa dawka promieniowania jaką mógłby pochłonąć żołnierz lub inna osoba w czasie całkowitego rozpadu substancji promieniotwórczych. Z oczywistych względów nikt nie będzie przebywał w skażonym terenie tak długo, toteż taki sposób określania stref nie jest zbyt praktyczny i z tego powodu ma raczej orientacyjny charakter, mający wskazać miejsce, rozmiary i maksymalny zasięg skażenia.

Przedstawione rozbieżności powodują, że proste porównanie prognozowanych stref skażeń, opracowanych za pomocą obu wspomnianych metod nie jest możliwe. Na przykład ATP-45 definiuje strefę II jako strefę, w której nieosłonięci ludzie w ciągu 4 godzin pochłoną dawkę promieniowania mniejszą niż 150 cGy, a w ciągu 24 godzin dawka pochłonięta kształtować się będzie między 50 cGy a 150 cGy. Z kolei w metodzie stref-elips w strefie umiarkowanego skażenia (strefa A) mówi się tylko o otrzymaniu dawki promieniowania powodującej utratę zdolności bojowej w ciągu kilku pierwszych dni, a to oznacza, że w taki sposób nie da się porównać obu stref. Jest jednak oczywiste, że same definicje stanowią tylko pewną ideę odwzorowania stref skażeń, natomiast szczegółowe kalkulacje wykonamy korzystając z wielu dodatkowych danych, które w metodyce⁹³ są przedstawione w formie tabel. Możemy z nich odczytać, że dla czasu przebywania w strefie A przez 4 godziny pochłonięta dawka promieniowania maksymalnie wyniesie 85 cGy, natomiast po 24 godzinach osiągnie 113 cGy⁹⁴. Obie wartości mieszczą się w granicach przewidzianych dla strefy II ATP-45, dlatego teoretycznie można by uznać, że strefa A oraz strefa II są porównywalne. Niestety wyliczone wartości odnoszą się do środka strefy A, natomiast na jej zewnętrznej granicy wielkość dawki jest 3,2 razy mniejsza. W ten sposób obie metody nie są już kompatybilne. Analogicznie można porównać pozostałe strefy skażeń, jednak ich liczba nie jest jednakowa, dlatego do porównania można wykorzystać tylko strefę I ATP-45 oraz strefę B metody elips. Według definicji strefa I ATP oznacza strefę, w której nieosłonięci ludzie pochłoną dawkę promieniowania 150 cGy lub większą w czasie

93 *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie*, wyd. cyt., tabela 4, s. 54.

94 J. Solarz, *Prognozowanie skażeń...*, cz. I, *Skażenia promieniotwórcze*, wyd. cyt., s. 44.

krótszym niż 4 godziny. W metodzie elips możemy zaś sprawdzić, że po 4 godzinach maksymalna dawka pochłonięta wyniesie 279 cGy⁹⁵, co jest wartością znacznie większą niż 150 cGy. Wynika z tego, że strefa B spełnia wymagania strefy I, a tym bardziej pozostałe strefy C i D, chociaż w tym przypadku nie ma do czego ich porównywać.

Rozpatrywanie poszczególnych stref skażeń w odniesieniu tylko do dawek, które reprezentują nie daje pełnego obrazu do porównań. Aby ten obraz uzupełnić trzeba dodać zasięgi stref skażeń, wyliczone dla takich samych mocy wybuchu⁹⁶. Przeprowadzone analizy⁹⁷ potwierdziły, że porównanie charakteru poszczególnych stref obu metod jest możliwe tylko w ograniczonym zakresie i ma zastosowanie wyłącznie w stosunku do stref A-II i B-I. Natomiast w metodzie ATP-45, strefy C i D nie mają żadnego odniesienia i z tego powodu są całkowicie nieporównywalne.

Równie istotną kwestią jest sposób określania osi śladu obłoku, która *de facto* określa kierunek wiatru skutecznego (lub średniego) i decyduje o tym czy rzeczywiste strefy skażeń znajdą się w obszarze prognozy. Waga problemu pozwala sądzić, że ten element prognozy będzie traktowany priorytetowo, co oznacza, że sposób wykreślenia osi (kierunku), będzie uwzględniał rzeczywisty sposób kształtowania się obłoku i jego projekcji na trasie rozprzestrzeniania. Wyniki analiz wskazują jednak, że jest inaczej, gdyż w metodzie ATP-45 określa się kierunek wiatru skutecznego⁹⁸, natomiast w metodzie stref-elips kierunek wiatru średniego⁹⁹. To zaś oznacza, że ani sposób wyznaczania osi śladu, ani jej kierunek rzadko będzie jednakowy. Dla potwierdzenia warto wykorzystać wyniki obliczeń, które wykonano dla omawianego już wybuchu o mocy 50 kt i takich samych parametrach wiatru w poszczególnych warstwach atmosfery¹⁰⁰. Jest to dość znaczna różnica, która w istotny sposób oddala oba sposoby prognozowania, tym bardziej, że jak ustalono podczas doświadczalnych prób jądrowych oś śladu obłoku rzadko jest linią prostą. Dodatkowo okazuje się, że w przypadku metody natowskiej, wy-

95 *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie*, wyd. cyt., tabela 4, s. 56.

96 W przypadku wybuchu o mocy 50 kt wyliczone zasięgi stref wynoszą: dla metody ATP-45 – strefa I = 40 km, strefa II = 80 km; dla metody stref-elips: strefa A – 93 km, strefa B – 31 km, strefa C – 16 km, strefa D – 5,4 km.

97 J. Solarz, *Prognozowanie skażeń...*, cz. I, *Skażenia promieniotwórcze*, wyd. cyt., s. 45–46.

98 Kierunek wiatru skutecznego to dwusieczna kąta utworzonego między linią kierunkową na 2/3 S i linią kierunkową na CT. Jest wyznaczany za pomocą szczegółowej metody prognozowania skażeń – J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, wyd. cyt., s. 118–123.

99 Średnim nazywamy wiatr, którego prędkość i kierunek są średnią dla wszystkich warstw atmosfery do wysokości wzniesienia się obłoku promieniotwórczego – *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie*, wyd. cyt., s. 10.

100 Kierunki śladu obłoku wynosiły 140° dla metody ATP-45 oraz 106° dla metody stref elips.

stępuje znacznie większy stopień komplikacji, gdyż do określenia wektora wiatru skutecznego wymaga się wielu obliczeń i kalkulacji. Z kolei w metodzie stref-elips nie wiadomo dlaczego ograniczono liczbę warstw atmosfery, w których oblicza się średni wiatr¹⁰¹.

W efekcie wyróżnione rozbieżności stanowią poważny problem w kompatybilności obu metod, jednak po uproszczeniu, można przyjąć, że takie wyniki, mimo że niejednakowe mogą stanowić wystarczające źródło informacji, niezbędnych do planowania działań w terenie skażonym.

Ostatnim kryterium porównawczym jest czas i prostota wykonania prognozy. Jak wcześniej wykazano obie metody należą do prostych metod analityczno-graficznych, co powoduje, że stopień trudności prognozy nie jest duży, a czas jej przygotowania stosunkowo krótki. Mimo to, nawet w tym zakresie, występują pewne różnice, które wynikają zarówno z odmiennego podejścia do obliczanych parametrów, a także z innej „szkoły” prognozowania. Już na pierwszy rzut oka widać, że w „szkole radzieckiej” preferowane są różnorodne tabele natomiast w „szkole zachodniej” wykorzystuje się wykresy, schematy i nomogramy. Jednoznaczne określenie, który ze sposobów jest lepszy nie zawsze jest możliwe, gdyż zawarte w metodykach informacje w większości się nie pokrywają i nie zawsze nadają się do bezpośrednich porównań. Można tylko sądzić, iż w przypadku dobrze opracowanych danych wyjściowych wygodniejszym sposobem będą tabele, które nie pozwalają na popełnianie prostych błędów w odczycie. Należy jednak pamiętać, że wszelkie prognozy, niezależnie od sposobów ich przygotowania mają charakter probabilistyczny i zawsze zawierają dość znaczny pierwiastek błędu.

101 W przykładzie dla wybuchu 50 kt były to strefy 0–30 km (w zasadzie 0–14 km) dla metody ATP-45 oraz 0–6 km, dla metody stref-elips.

4

HEURYSTYCZNE ASPEKTY PROGNOZOWANIA SYTUACJI SKAŻEŃ

4.1. Istota i właściwości przewidywania skażeń

Wielkość i funkcjonowanie każdej armii jest zazwyczaj uwarunkowane ściśle określonymi potrzebami, które w połączeniu z możliwościami wykonawczymi stanowią o jej bojowym potencjale oraz militarnej efektywności. Takie podejście stanowi więc swoisty kompromis pomiędzy tym, co potrzebne, a tym, co możliwe.

W dobie zmagañ zimnowojennych, gdzie niemal wszystkie zadania sił zbrojnych były ukierunkowane na stworzenie i utrzymanie odpowiedniego potencjału militarnego, zdolnego do odparcia ataku każdego agresora, określenie potrzeb było stosunkowo proste. Wtedy bowiem uważano, że potrzeby są bezpośrednio pochodną zagrożenia stwarzanego przez państwa NATO, któremu sprostać może tylko bardzo liczna i dobrze wyposażona armia. We wszystkich tych rozważaniach zawsze zakładano najbardziej niesprzyjający scenariusz rozwoju zdarzeń, z masowym użyciem broni jądrowej włącznie. W takiej sytuacji dużą sztuką było podejmowanie decyzji ukierunkowanych zarówno na wykonanie zadania, jak i na ochronę wojsk przed skutkami ataków bronią masowego rażenia.

Zgodnie z tym, istotną funkcją wspomagania procesu decyzyjnego było przewidywanie najbardziej prawdopodobnego biegu lub obrazu zjawisk i procesów, które oparte na naukowych podstawach nazywamy prognozowaniem. Jak wcześniej wykazano, w warunkach użycia lub groźby użycia broni masowego rażenia powszechnym rodzajem prognozowania było prognozowanie skażeń, widziane w trzech aspektach – jako przewidywana sytuacja skażeń, prognozowana sytuacja skażeń oraz rzeczywista sytuacja skażeń.

Jak wcześniej ustalono, prognozowana sytuacja skażeń, to sytuacja, którą opracowuje się w odniesieniu do realnych, już zaistniałych ataków czy zdarzeń ze środkami chemicznymi, biologicznymi lub jądrowymi. W swej istocie jest więc próbą przedstawienia prawdopodobnej sytuacji skażeń, która wytworzy się w następstwie wykonanych ataków. Rzeczywista sytuacja skażeń to z kolei efekt prognozowania, które zostało wykonane na podstawie wyników szczegółowego rozpoznania skażeń. Jego szczegółowy zakres oraz podstawowa charakterystyka zostanie przedstawiona w następnym rozdziale.

Ze wszystkich trzech rodzajów prognozowania najwięcej kontrowersji budzi przewidywanie skażeń. Wynika to przede wszystkim z faktu, iż tylko ten rodzaj prognozy jest wykonywany przed zaistnieniem jakichkolwiek zdarzeń, a więc wtedy, gdy mamy najmniej danych do jej przygotowania. Jej celem jest antycypacja hipotetycznej sytuacji skażeń, zniszczeń i porażeń w aktualnie istniejącej sytuacji.

Nasuują się więc pytania: kto i kiedy opracowuje przewidywaną sytuację skażeń; czy istnieje tożsamość przewidywania i prognozowania skażeń; jakie relacje zachodzą pomiędzy oceną zagrożenia bronią masowego rażenia a prognozowaniem skażeń? A ponadto, do czego i jak je wykorzystać, i w końcu czy założone cele przewidywania skażeń mogą być osiągnięte z pełną wiarygodnością?

Zacznijmy jednak od definicji zawartej w Instrukcji Systemu Wykrywania Skażeń. Według niej, *przewidywaną sytuację skażeń ośrodki analizy skażeń opracowują na podstawie oceny możliwości i zamiaru przeciwnika, położenia wojsk własnych, warunków meteorologicznych i terenu. Jest to hipotetyczna sytuacja zniszczeń, skażeń i strat sanitarnych powstałych w wyniku możliwego użycia przez przeciwnika BMR lub uwolnienia środków promieniotwórczych, biologicznych i chemicznych spowodowanych zdarzeniami typu ROTA*¹.

Z powyższej definicji wynikają dwa główne wnioski. Pierwszy dotyczy zakresu „przewidywania”, w którym oprócz skażeń rozpatrujemy także ewentualne straty i zniszczenia. W przypadku użycia broni jądrowej skutki są nieporównywalne z żadnym innym rodzajem broni, gdyż do rozległych skażeń promieniotwórczych dochodzą ogromne zniszczenia terenu oraz masowe porażenie ludzi spowodowane oddziaływaniem fali uderzeniowej i promieniowania cieplnego. Tym samym, podczas prognozowania, rozpatrywanie przyszłych zniszczeń i porażeń, a nie tylko samych skażeń jak najbardziej jest zasadne. Z tego powodu zamiast prognozowania skażeń stosuje się termin ocena sytuacji skażeń, zniszczeń i porażeń².

Równie istotny jest drugi aspekt przewidywania, w którym niezwykle ważna jest podstawa wyjściowa do opracowania przewidywanej sytuacji skażeń. Według definicji jest nią ocena możliwości i zamiaru przeciwnika, położenia wojsk własnych, warunków meteorologicznych i terenu. Zderzenie tych dwóch aspektów przewidywania skażeń prowadzi do konstatacji, iż prawidłowe opracowanie takiej

1 *Instrukcja Systemu Wykrywania Skażeń*, Szt. Gen., Warszawa 2002, paragraf 54.

2 Zob. *Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi*, MON, Warszawa 1993; *Metodyka oceny sytuacji chemicznej*, MON, Warszawa 1981; *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie*, MON, Warszawa 1991; *Metodyka prognozowania i oceny strat w rejonach uderzeń jądrowych*, MON, Warszawa 1991; *Metodyka prognozowania i oceny sytuacji po uderzeniach BMR w wojskach OPK*, Dowództwo WOPK, Warszawa 1977; *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej i chemicznej na podstawie danych z rozpoznania*, MON, Warszawa 1984.

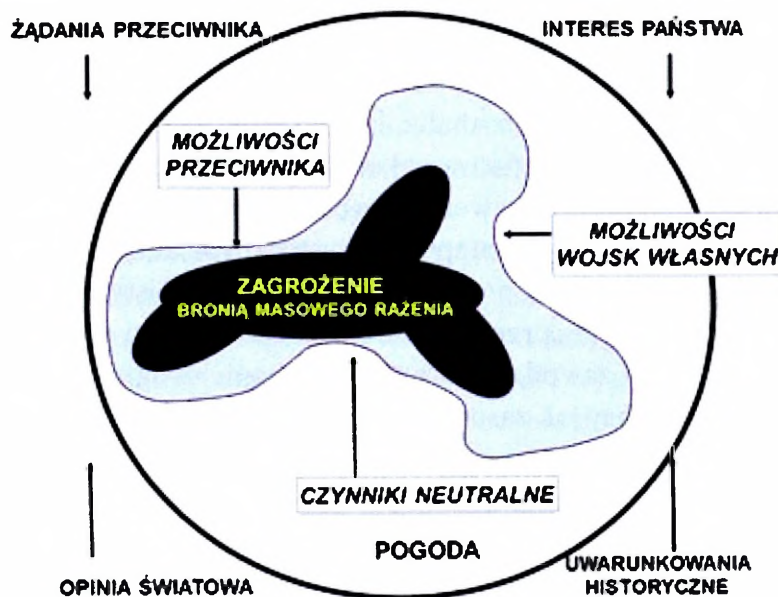
prognozy jest niezwykle trudne, znacznie trudniejsze niż w pozostałych przypadkach prognozowania skażeń. Wynika to z faktu, iż dysponując bardzo małą ilością informacji musimy „przewidzieć” bardzo dużą liczbę zdarzeń. Taka dysproporcja pomiędzy tym, co wiemy, a co chcemy wiedzieć łatwo może doprowadzić do przypadkowych ocen, fałszywych wniosków czy nadinterpretacji. Tym samym, wiarygodność całej prognozy staje pod znakiem zapytania. Z drugiej strony jednak wiemy, że głównym celem każdego prognozowania jest zmniejszenie ryzyka w procesie podejmowania decyzji, a to oznacza, że nie musimy wszystkiego „przewidzieć”, a tylko wskazać, zaznaczyć, zaakcentować pewne problemy, które najprawdopodobniej się pojawią, gdy dojdzie do ataków BMR czy zdarzeń ze środkami chemicznymi, biologicznymi i radiologicznymi. W ten sposób wiedza, pozyskana w wyniku „przewidywania”, pozwoli na podjęcie odpowiednich kroków zmierzających do skutecznego przeciwdziałania skutkom przyszłych ataków.

Wracając do pytań postawionych na początku możemy uznać, że podstawowa różnica między przewidywaną i prognozowaną sytuacją skażeń polega na tym, iż w tej pierwszej istnieje konieczność „przewidzenia” czasu, miejsca i rodzaju ataku, co jak wiadomo jest niezwykle trudne. Pozostałe dane podlegające prognozowaniu są już takie same i obejmują takie aspekty, jak: wielkość stref skażeń, zniszczenia i zawały oraz straty w ludziach. Dodatkowo trzeba pamiętać, że opracowywanie przewidywanej sytuacji skażeń będzie przydatne tylko pod warunkiem zapewnienia minimalnego stopnia jej wiarygodności. Czy jest to jednak możliwe i co właściwie oznacza minimalny stopień wiarygodności odpowiemy sobie dopiero po przeanalizowaniu przyczyn i okoliczności przewidywania skażeń.

Zgodnie z definicją, przewidywaną sytuację skażeń opracowuje się na podstawie oceny możliwości i zamiaru przeciwnika, położenia wojsk własnych, warunków meteorologicznych i terenu. Co to jednak oznacza i kiedy takie oceny należy wykonać? Czy jest możliwe przygotowanie przewidywanej sytuacji skażeń w każdym, dowolnym czasie? Czy do zapoczątkowania prognozy musi nastąpić jakiś konflikt czy też nie? Odpowiedź na powyższe pytania zależy jedynie od zaistnienia (lub nie) potrzeb prognozowania. W zasadzie możemy przyjąć, że opracowanie takiej prognozy należy rozpocząć wtedy, gdy uznamy, że istnieją takie potrzeby i jest to z jakichś względów zasadne. Na przykład już sam fakt posiadania przez potencjalnego przeciwnika broni masowego rażenia może być odpowiednią przyczyną przygotowania takiej prognozy. Potrzeby tego typu będą zresztą narastały w miarę pogłębiania się konfliktu, aż do jego kulminacji, którą będzie pełna konfrontacja z użyciem całego potencjału sił zbrojnych³.

3 Na ogół przyjmujemy, że podstawą do przygotowania prognozy jest wystąpienie zagrożenia, natomiast interpretacja faktów świadczących o istnieniu lub nie istnieniu zagrożenia należy do odpowiednich decydentów.

Zupełnie innym zagadnieniem jest możliwość pozyskania odpowiednich danych niezbędnych do przygotowania wiarygodnej prognozy. Nie ulega bowiem wątpliwości, że nieprawdziwe lub niepełne dane spowodują opracowanie takiej prognozy, której przydatność do podejmowania decyzji będzie bardzo mała lub żadna. Jakie więc dane musimy posiadać, aby efektywność i wiarygodność prognozy była duża? Na te pytanie bardzo trudno odpowiedzieć, gdyż zakres możliwych odpowiedzi jest niezwykle szeroki. Graficzną ilustrację czynników wpływających na wystąpienie zagrożenia BMR przedstawiono na rysunku 16.



Rysunek 16. Czynniki mające wpływ na zagrożenie bronią masowego rażenia

Z rysunku 16 wynika, że wśród czynników mających istotny wpływ na zagrożenie bronią masowego rażenia wyróżniamy: rozszczenia przeciwnika, jego możliwości w zakresie użycia BMR, możliwości OPBMR wojsk własnych, interes państwa, czynniki neutralne, uwarunkowania historyczne i wiele innych. Tak duży zakres wymienionych czynników oraz ich bardzo zróżnicowany charakter powoduje, że przygotowanie danych do prognozy jest niezwykle trudne. Zakładając, że przewidywaną sytuację skażeń opracowują ośrodki analizy skażeń wszystkich szczebli, łatwo dostrzec, że ich możliwości w zakresie pozyskiwania wymaganych danych są, co najmniej ograniczone. Jest to spowodowane tym, że rodzaj potrzebnej do prognozowania informacji ma raczej strategiczny charakter i z tego względu do takich danych dostęp będą miały tylko nieliczne osoby na najwyższych szczeblach władzy. Natomiast, mało prawdopodobne jest, aby taka informacja krążyła po wszystkich szczeblach dowodzenia i dotarła do ośrodków analizy skażeń, gdzie stałaby się podstawą do opracowania przewidywanej sytuacji skażeń. Tym samym jakiegokolwiek przewidywanie skażeń opracowywane w ten

sposób miałyby znacznie większy związek ze zgadywaniem lub wymyślaniem niż z prawdziwym prognozowaniem.

Nieco inaczej będzie w sytuacji, gdy już dojdzie do konfliktu zbrojnego, podczas którego ilość oraz jakość dostępnej informacji znacznie wzrośnie. Wtedy dużo łatwiej „przewidzieć” ewentualne ataki bronią masowego rażenia i inne okoliczności z tym związane. W przypadku ataków bronią jądrową będzie to zadanie o priorytetowym znaczeniu.

Poszukując istoty „przewidywania skażeń” dochodzimy więc do wniosku, że opracowanie takiej prognozy pociąga za sobą konieczność wyraźnego rozdzielania dwóch jej aspektów (etapów), które umownie nazwiemy – heurystycznym i proceduralnym (zalgorytmizowanym). Taki rozdział dokładnie odzwierciedla charakter oraz cel prowadzonych analiz, które w pierwszym etapie koncentrują się na ustaleniu prawdopodobieństwa i okoliczności użycia broni jądrowej (także innej), a dopiero potem na skali i ewentualnych skutkach tych ataków. Równocześnie można się spodziewać, że w etapie heurystycznym dominuje podejście stochastyczne, natomiast w etapie proceduralnym, deterministyczne. To zaś oznacza, że w pierwszym etapie „przewidywania skażeń” wyniki przeprowadzonych analiz mogą być czasem zawodne, natomiast w etapie drugim końcowy rezultat prognozy będzie tak dobry jak zastosowane algorytmy (metody prognozowania) oraz dane wejściowe pozyskane z etapu pierwszego.

Rozpatrując problem przewidywania skażeń dochodzimy do konkluzji, iż podstawą jej opracowania jest ocena zagrożenia, implikowanego przez broń masowego rażenia. Wiemy także, że wiele aspektów tej oceny zależy od licznych, często bardzo nieokreślonych i subiektywnych czynników, które w żaden sposób nie poddają się jakiegokolwiek algorytmizacji. Tym samym nie istnieje możliwość wykorzystania jakichkolwiek matematycznych metod prognozowania, które zapewniłyby duże prawdopodobieństwo jednoznacznego i rzeczywistego „przewidzenia” tych elementów. Mimo to do podjęcia właściwej decyzji pewien stopień wiarygodności prognozy jest jednak potrzebny. I tu pojawia się wyraźny związek przewidywania skażeń z heurystyką.

Jak wiadomo, *heurystyka to dyscyplina naukowa badająca i opisująca czynności (operacje) występujące w myślowym procesie rozwiązywania problemów, a także opracowująca metody sprzyjające twórczemu rozwiązywaniu problemów, dokonywaniu odkryć i wynalazków*⁴. Szczególnie przydatna może być umiejętność wykrywania nowych faktów oraz znajdowania związków między nimi, zwłaszcza z wykorzystaniem hipotez. Innymi słowy, postępowanie heurystyczne może być przydatne tam, gdzie inne metody są niemożliwe do zastosowania lub ich sku-

4 Zob. E. Wiśniewski, *Metodyka wojskowych badań naukowych*, cz. I, zeszyt 3, *Metody – sposoby działania*, AON, Warszawa 1990, s. 97.

teczność jest bardzo słaba. Mimo to należy pamiętać, iż heurystyka nie zapewnia opracowania procedur, które w pełni zagwarantują osiągnięcie założonego celu lub wyniku. Zamiast tego, heurystyka będąc wiedzą o zdolnościach i możliwościach twórczego myślenia człowieka, może potęgować umiejętność trafnego prognozowania (w tym skażeń), bo przecież prognozowanie to także proces twórczego działania. Wiemy jednak, że do oceny intencji i zamiarów przeciwnika rzadko będziemy posiadać wiarygodne dane, toteż w takich przypadkach wykorzystanie skomplikowanych metod matematycznych rzadko będzie możliwe. Jedynym wyjściem wydają się więc metody heurystyczne, w których pewną rolę odgrywać może intuicja lub tzw. iskra boża. Istnieje wiele metod heurystycznych, które z powodzeniem można wykorzystać do prognozowania. Warto choćby wspomnieć o takich metodach jak: metody odroczonego wartościowania, np. burza mózgów; metody transpozycji – antynomie i analogie oraz metody złożone takie jak synektyka i metoda morfologiczna⁵.

W praktyce, opracowanie przewidywanej sytuacji skażeń sprowadza się do wykonania dwóch procedur. Pierwsza z nich polega na przygotowaniu oceny hipotetycznego zagrożenia, występującego w aktualnej rzeczywistości lub odnoszącego się do bliżej nieokreślonej przyszłości. Z kolei wyniki tej oceny staną się podstawą do przeprowadzenia drugiej procedury, a konkretnie do wykonania szczegółowej prognozy skażeń, mających powstać w następstwie antycypowanych uderzeń jądrowych. W efekcie można uznać, że przygotowanie przewidywanej sytuacji skażeń obejmuje wykonanie oceny zagrożenia, wraz z ustaleniem wszystkich istotnych czynników i okoliczności hipotetycznych ataków, a następnie opracowanie „typowej” prognozowanej sytuacji skażeń, ale bazującej na wynikach tej oceny.

Podsumowując można założyć, że przewidywana sytuacja skażeń to nic innego jak prognozowana sytuacja skażeń bazująca na ocenie zagrożenia, które mogłoby się pojawić, gdyby hipotetyczne ataki i zakładane okoliczności rzeczywiście wystąpiły. Metody prognozowania skażeń zostały przedstawione w poprzednim rozdziale, dlatego do dalszych rozważań w zakresie „przewidywania skażeń” wybrano trzy metody oceny zagrożenia, które funkcjonują w ramach procesu planowania działań (*decision-making process*), procesu zarządzania ryzykiem (*risk management process*) oraz procesu działania (*operations process*)⁶.

5 Zob. J. Antoszkiewicz, *Metody heurystyczne. Twórcze rozwiązywanie problemów*, PWE, wyd. II, Warszawa 1990; A. Góralski, *Twórcze rozwiązywanie problemów*, Zbiór 1–4, wyd. II, PWN, Warszawa 1989; Z. Mikołajczyk, *Techniki organizatorskie w rozwiązywaniu problemów zarządzania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.

6 W praktyce wszystkie te procesy mają wiele wspólnego i nawzajem się przenikają, jednak aspekt oceny zagrożenia można rozpatrywać oddzielnie.

4.2. Procedury oceny zagrożenia

4.2.1. Proces planowania działań

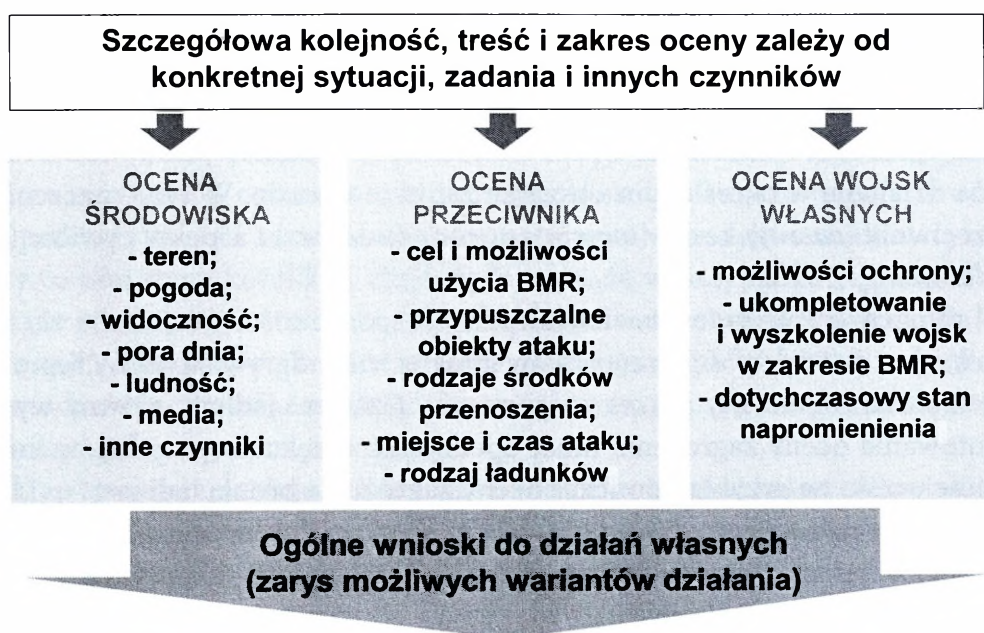
Przedstawione wątpliwości oraz definicyjna konieczność *oceny możliwości i zamiaru przeciwnika, położenia wojsk własnych, warunków meteorologicznych i terenu* prowadzą do wniosku, że do takiej oceny potrzebne jest zaangażowanie znacznie większych sił i środków niż oferuje to skromny potencjał ośrodków analizy skażeń. Skąd jednak te środki pozyskać i czy jest to w ogóle możliwe? Odpowiedź na to pytanie nie jest jednoznaczna ale nie jest też szczególnie trudna. Wiadomo bowiem, że w strukturach wojskowych funkcjonuje ewolucyjnie ukształtowany proces dowodzenia, który w swej wykonawczej części może być traktowany jako cykl decyzyjny, który składa się z wyraźnie określonych i powtarzalnych faz, etapów oraz czynności. Obecnie funkcjonuje przynajmniej kilka mniej lub bardziej różniących się procesów podejmowania decyzji, jednak w każdym z nich na pewno pojawi się ocena czynników mających istotny wpływ na wykonanie zadania⁷. W jej trakcie, analizie poddawane są wszystkie te elementy, które odnoszą się do oceny przeciwnika, wojsk własnych, środowiska oraz innych, istotnych czynników. Już na tym etapie łatwo zauważyć, że są to dokładnie te elementy, które muszą być rozpatrzone w trakcie opracowywania przewidywanej sytuacji skażeń. W wyniku tej oceny, powinniśmy poznać zamiary przeciwnika, szczególnie w zakresie czasu, miejsca i rodzaju ataku BMR. Od tego bowiem zależeć będzie wiarygodność prognozy. Szczegółowy zakres dociekań w ramach oceny sytuacji przedstawiono na rysunku 17.

Z informacji przedstawionych na rysunku 17 wynika, że rozpatrywany jest szeroki zakres problemów, które mają lub potencjalnie będą mogły mieć wpływ na przyszły obraz skażeń. Jednym z najtrudniejszych elementów do oceny jest ocena przeciwnika, a zwłaszcza jego intencje, cele i zamiary. Zależą one od tak wielu i tak mocno zróżnicowanych czynników, że rzadko kiedy będziemy w stanie pozyskać wszystkie niezbędne informacje lub, jeżeli się to uda, odpowiednio je zinterpretować. Znacznie łatwiejsza wydaje się ocena zdolności przeciwnika w zakresie użycia broni masowego rażenia, co wynika ze stosunkowo dużych możliwości ustalenia faktu posiadania poszczególnych składników tej broni, wyposażenia przeciwnika w odpowiedni sprzęt i środki przenoszenia oraz wyszko-

⁷ Różnice występują nawet w obrębie jednego państwa, na przykład w Stanach Zjednoczonych mamy do czynienia z MDMP (*Military Decision-making Process*) w wojskach lądowych oraz z MCPP (*Marine Corps Planning Process*) w piechocie morskiej.

lenia jego wojsk w zakresie jej użycia. W rezultacie połączenie tych informacji powinno doprowadzić do pełnej oceny zagrożenia, uwzględniającej miejsce, czas i prawdopodobieństwo wykonania ataków bronią jądrową, a także ich skutki.

OCENA SYTUACJI



Rysunek 17. Czynniki rozpatrywane w trakcie oceny sytuacji BMR

W tym miejscu trzeba jednak wyraźnie rozróżnić dwie okoliczności. Pierwsza dotyczy sytuacji, w której nie ma żadnego konfliktu, nie prowadzimy żadnych działań, a ewentualne zagrożenie jest czysto hipotetyczne. Ocena zagrożenia na potrzeby opracowania przewidywanej sytuacji skażeń ma wówczas typowo szkoleniowy lub analityczny charakter, pozwalając na wczesną identyfikację własnych słabości na wypadek, gdyby to hipotetyczne zagrożenie jakoś się zmaterializowało. Druga okoliczność wystąpi w sytuacji, gdy konflikt istnieje, a działania bojowe są prowadzone lub wszystko wskazuje na to, że wkrótce nastąpią. Tym samym, ocena zagrożenia nastawiona będzie na ocenę zamiarów i możliwości wykorzystania potencjału jądrowego konkretnego już przeciwnika, ograniczając ilość i zakres różnych wątpliwości, chociaż wiedza o miejscu, czasie i rodzaju ewentualnych uderzeń wciąż pozostanie niedostępna⁸.

⁸ Tego typu informacje będą dostępne dopiero po wykonaniu uderzeń, lecz wówczas staną się obiektem rozważań prowadzonych w ramach „prognozowanej”, a nie „przewidywanej” sytuacji skażeń.

Z dotychczasowych rozważań wynika wniosek, iż liczba elementów, niezbędnych do oceny sytuacji i określenia poziomu ryzyka jest bardzo duża, znacznie przekraczająca możliwości pojedynczych osób, a nawet małych zespołów. Z tego powodu do przygotowania ocen tego typu predysponowana jest liczna grupa osób, które w zależności od potrzeb i możliwości zbierają i przygotowują odpowiednie dane. Cały ich wysiłek ogniskuje się w postaci informacyjnego przygotowania pola walki (IPPW), które na ogół definiuje się jako *systematyczny i ciągły proces oceny zagrożenia i środowiska w specyficznym obszarze geograficznym*⁹. Mówiąc dokładniej, chodzi o określenie wpływu zmiennych zadaniowych (*mission variables*) na działania w określonym obszarze zainteresowania. W tym znaczeniu są to: przeciwnik (*enemy*), teren (*terrain*), pogoda (*weather*) i aspekty cywilne (*civil considerations*)¹⁰.

W ramach IPPW przedstawiciele różnych specjalności wzajemnie się uzupełniają, choć w większości przypadków główną rolę odgrywają osoby reprezentujące szeroko rozumiany zakres rozpoznania. Czasami jednak, główny wysiłek przygotowania oceny zagrożenia może spoczywać w rękach specjalistów innych rodzajów wojsk, na przykład podczas oceny zagrożenia bronią jądrową.

Informacyjne przygotowanie pola walki nie jest procesem samodzielnym, lecz składa się z czterech wyraźnych etapów, których celem jest:

- zdefiniowanie środowiska operacyjnego;
- określenie wpływu środowiska operacyjnego na prowadzenie działań;
- ocena zagrożenia/przeciwnika;
- określenie wariantów rozwoju zagrożenia/działania przeciwnika¹¹.

Definiowanie środowiska operacyjnego polega na identyfikacji wszelkich, istotnych czynników i obszarów tego środowiska, które mają lub mogą mieć istotny wpływ na prowadzenia działań. Wśród nich wymienia się: teren, ewentualnego przeciwnika, warunki meteorologiczne i aspekty cywilne. Ponadto, w przypadku zagrożenia bronią jądrową szczególne znaczenie będą odgrywały czynniki polityczne, społeczne oraz ekonomiczne. Brak oceny poszczególnych zmiennych lub ich zła interpretacja może spowodować liczne zakłócenia i trudności w procesie oceny, a w efekcie doprowadzić do uzyskania błędnego obrazu sytuacji, kierującego dalsze działania w niewłaściwe obszary.

W drugim etapie, bazując na wcześniej zdefiniowanym środowisku operacyjnym, należy ustalić wszelkie okoliczności i czynniki, które będą miały negatyw-

9 *Intelligence Preparation of the Battlefield/Battlespace*, ATP-2-01.3, Department of the Army, United States Marine Corps, Washington, Quantico 2015, s. 1-1.

10 Tamże.

11 Tamże, s. 1-2.

ny wpływ na prowadzenie działań lub wpływ pozytywny, wyrażany możliwością zmniejszenia ewentualnych skutków przyszłych ataków. W trakcie tych analiz szczególnie wnikliwie rozpatrywany jest teren i warunki meteorologiczne, które w przypadku użycia broni masowego rażenia mogą odgrywać kluczową rolę, bezpośrednio wpływając na rozwój sytuacji taktycznej lub operacyjnej. Jeżeli jednak przyjmujemy, że ocena efektów środowiska i ich wpływu na prowadzenie działań ma być wykorzystana na potrzeby opracowania „przewidywanej” sytuacji skażeń, wówczas takie czynniki jak teren i pogoda nie będą już miały kluczowego znaczenia¹². Zamiast tego na pierwszym miejscu umieścimy aspekt kognitywny, obejmujący sposób rozumowania wszystkich osób zaangażowanych w odbieranie, przekazywanie i rozumienie informacji oraz w podejmowanie decyzji. Dotyczy to obu stron konfliktu, choć wydaje się, że w przypadku „agresora” ma to większe znaczenie, bo to on będzie decydował o użyciu (sposobie użycia) broni jądrowej¹³. W ten sposób bardzo wiele zależy od jego motywacji, wyszkolenia, doświadczenia, sposobu myślenia oraz wielu innych psychologicznych, politycznych czy społecznych uwarunkowań.

Etap trzeci przewiduje ocenę zagrożenia/przeciwnika, której celem jest zrozumienie intencji przeciwnika, ocena jego ofensywnych możliwości oraz wskazanie najbardziej zagrożonych obiektów. Takie zadanie z pewnością nie jest łatwe, gdyż wymaga przeanalizowania wielu, czasem bardzo subtelnych implikacji i uwarunkowań, które w swym ostatecznym kształcie zadecydują o sposobie i zakresie rozwoju zagrożenia¹⁴.

Podczas oceny, związanej z użyciem broni masowego rażenia, stosowane są zwykle trzy podejścia, tj.: zorientowane na teren, na wojska i ludność oraz kombinowane¹⁵. W pierwszym przypadku celem działania przeciwnika jest ograniczenie możliwości wykorzystania konkretnych obszarów terenu i kształtowanie pola walki. Drugi wariant przewiduje atak na duże skupiska ludzkie, zarówno

12 Nie znając miejsca ani terminu przyszłych uderzeń ustalenie szczegółowego wpływu terenu i warunków atmosferycznych na prowadzenie działań nie jest możliwe.

13 Potencjalny agresor został tu przedstawiony w liczbie pojedynczej, choć w rzeczywistości takie decyzje będą spoczywać w rękach większej liczby osób (choć w różnym zakresie).

14 Dla przykładu, w rozwiązaniach amerykańskich analizie poddawane są następujące elementy: kompozycja sił przeciwnika, ich dyspozycja (lokalizacja), potencjał bojowy (liczebność, wyposażenie i możliwości bojowe), doktryny i taktyka działania, wsparcie i zabezpieczenie działań, przeciwdziałanie radioelektroniczne, możliwości i ograniczenia (wywiad, maskowanie, szpiegostwo, użycie BMR), dotychczasowe zaangażowanie militarne, dane historyczne i wszelki inne przydatne (dane biograficzne, osobowość, kultura, zależności polityczne, organizacyjne i nieformalne), zob. *Intelligence Preparation of the Battlefield/Battlespace*, wyd. cyt., s. 5-3-5-21.

15 *MTTP for nuclear, biological, and chemical vulnerability assessment*, Fort Leonard Wood, Quantico, Newport, Maxwell 2004, s. II-9.

wojskowe jak i cywilne, zapewniając w ten sposób osiągnięcie różnych celów politycznych i militarnych, w tym zarówno tych wymiernych, jak i niewymiernych. Ostatnie podejście to dowolny mikst obu wcześniejszych, w którym zagrożona będzie zarówno ludność, jak i obiekty terenowe. Skala i charakter zagrożeń generowanych przez broń jądrową pozwala uznać, iż w przypadku jej użycia jedynym możliwym wariantem będzie ten ostatni¹⁶. To zaś oznacza, że proces oceny zagrożenia powinien być przeprowadzony w możliwie najbardziej szczegółowy sposób, uwzględniający wszelkie potencjalne zamiary przeciwnika w odniesieniu do broni jądrowej oraz wszystkie możliwe uwarunkowania i niuanse związane z jej użyciem.

Ostatni etap IPPW stanowi kulminację wszystkich wcześniejszych rozważań, w efekcie których uzyskano obraz środowiska operacyjnego, poznano jego wpływ na aktualne i przyszłe działania oraz ustalono cel i możliwości przeciwnika. Na tym etapie wszystkie te informacje są przetwarzane na konkretne warianty działania przeciwnika lub rozwoju zagrożenia, przy czym na szczególną uwagę zasługują te, w których rozwój sytuacji jest najbardziej prawdopodobny oraz najbardziej dla nas niekorzystny.

Informacyjne przygotowanie pola walki ma zastosowanie głównie na szczeblu taktycznym, gdyż dotyczy pojedynczych jednostek i operacji. Czasami jednak potrzebne jest szersze spojrzenie, obejmujące znacznie większy konglomerat zagadnień i problemów takich, które w istotny sposób będą oddziaływały na intencje, możliwości i sposób działania obecnego lub przyszłego przeciwnika. Takie potrzeby z pewnością wystąpią w sytuacji, gdy zagrożenie będzie dotyczyć broni masowego rażenia, a szczególnie broni jądrowej.

Przykład takich rozwiązań znajdziemy w amerykańskich regulaminach, które na taką okoliczność przewidują wykorzystanie zmodyfikowanej wersji informacyjnego przygotowania pola walki znanej jako Informacyjne Przygotowanie Środowiska Operacyjnego (IPOE – *Intelligence Preparation of the Operational Environment*). Na podstawie definicji można przyjąć, iż jest to holistyczny proces analityczny, realizowany przez połączone komórki rozpoznania i wywiadu, w celu przygotowania wywiadowczej oceny zagrożenia, na potrzeby procesu podejmowania decyzji dowódcy wysokiego szczebla¹⁷.

Podobnie jak w poprzednim przypadku IPOE przewiduje dokładnie te same etapy, polegające na: zdefiniowaniu środowiska operacyjnego, określenie jego wpływu na prowadzenie działań, ocenie zagrożenia/przeciwnika oraz określeniu wariantów rozwoju zagrożenia/działania przeciwnika.

16 Zob. *Combating Weapons of Mass Destruction*, JP 3-40, Washington 2009.

17 *Joint Intelligence Preparation of the Operational Environment*, JP 2-01.3, Washington 2009, s. GL-6.

4.2.2. Proces zarządzania ryzykiem

Przedstawione dotychczas rozważania w większości przypadków dotyczyły jednego tylko aspektu oceny sytuacji, którym jest ocena zagrożenia. Nie ulega przy tym wątpliwości, że jest to niesłychanie ważny element każdego procesu podejmowania decyzji, szczególnie w sytuacjach trudnych, w których istnieje realna możliwość powstania ogromnych zniszczeń oraz wystąpienia znacznych strat w ludziach i sprzęcie. Użycie broni jądrowej lub sama groźba jej użycia z pewnością do takich sytuacji należą, dlatego wszelkie działania w tym zakresie muszą być podejmowane z najwyższą starannością. W takich warunkach równie istotnym elementem rozważań jest ocena własnych możliwości, której rezultat powinien doprowadzić do określenia potencjalnej wrażliwości na użycie BMR. To z kolei pozwala na ustalenie poziomu ryzyka i określenie odpowiednich środków zaradczych. W efekcie, wymienione działania składają się na dobrze znany proces zarządzania ryzykiem, którego celem w ujęciu militarnym, jest zwiększenie możliwości operacyjnych i wykonanie zadania przy jak najmniejszym poziomie strat.

W piśmiennictwie funkcjonuje cały szereg definicji zarządzania ryzykiem, które jednak nie zawsze są tożsame, różniąc się w mniej lub bardziej widoczny sposób. Różnice występują nie tylko w merytorycznym aspekcie problemu, ale także w sposobie jego interpretacji, który może być prosty lub bardzo skomplikowany. Dla przykładu warto przytoczyć dwie propozycje D.W. Hubbarda.

W pierwszej zarządzanie ryzykiem traktowane jest jako *identyfikacja, ocena i ustalenie priorytetów ryzyka, po których następuje skoordynowane i ekonomicznie uzasadnione zastosowanie odpowiednich środków w celu zminimalizowania, monitorowania i kontrolowania prawdopodobieństwa i/lub skutków nieszczęśliwych zdarzeń*. Druga, krótsza interpretacja, definiuje zarządzanie ryzykiem jako *bycie inteligentnym w wykorzystywaniu szans*¹⁸.

Ujęcie wojskowe także nie jest jednoznaczne, gdyż można wyróżnić przynajmniej dwa podejścia. W pierwszym, nastawionym na cel, zarządzanie ryzykiem definiowane jest jako *proces wspomagający organizacje lub pojedyncze osoby w podejmowaniu świadomych decyzji, zmierzających do redukcji lub przesunięcia ryzyka*¹⁹. W uzupełnieniu dodaje się, że proces powinien doprowadzić do zwiększenia zdolności operacyjnych oraz prawdopodobieństwa wykonania zadania. W drugim, bardziej opisowym podejściu, zarządzanie ryzykiem traktowane jest jako *proces identyfikacji, oceny i kontroli ryzyka, wynikającego z czynników*

18 D.W. Hubbard, *The Failure of risk management, Why it's broken and how to fix it*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey 2009, s. 10.

19 *Risk Management*, ATP 5-19, Department of the Army, Washington 2014, s. 1-1.

operacyjnych, przy podejmowania decyzji bilansującej koszty ryzyka z korzyściami wynikającymi z wykonania zadania²⁰.

Analiza definicji wyraźnie wskazuje na uniwersalny charakter tego procesu, polegający na jego wszechstronnym zastosowaniu i łatwości implementacji w każdej dziedzinie ludzkiej działalności. Stąd można się spodziewać, że reguły zarządzania ryzykiem będą się sprawdzały we wszystkich możliwych zastosowaniach, niezależnie od charakteru ryzyka i rodzaju prowadzonych działań. Do podstawowych reguł zarządzania ryzykiem można zaliczyć:

- integruj proces zarządzania ryzykiem w każdym etapie zadania i operacji;
- decyzje związane z ryzykiem podejmuj na odpowiednim szczeblu;
- nie podejmuj niepotrzebnego ryzyka;
- zarządzaj ryzykiem w sposób ciągły lub cykliczny.

Pozostając przy amerykańskiej interpretacji zarządzania ryzykiem cały proces składa się z pięciu kolejnych kroków. Są to: identyfikacja zagrożenia, ocena zagrożenia, ustalenie środków zaradczych i podjęcie decyzji, wdrożenie środków zaradczych oraz nadzór i przegląd. Widać przy tym dokładnie, że pierwsze dwa kroki dotyczą oceny (szacowania) ryzyka, podczas gdy pozostałe trzy koncentrują się na sposobach dalszego z nim postępowania (zarządzania nim).

Ten wyraźny rozdział, a także fakt, że rozważania dotyczą opracowania „przewidywanej” sytuacji skażeń pozwala na konstatację, iż właśnie te dwa kroki zarządzania ryzykiem będą odgrywały największą rolę w identyfikacji zagrożeń wynikających z możliwości użycia broni jądrowej. To zaś powoduje, że dalsza analiza będzie prowadzona wyłącznie w zakresie identyfikacji zagrożenia i oceny ryzyka. Warto przy tym przypomnieć, na czym polega różnica między zagrożeniem a ryzykiem. Zagrożenie to nic innego, jak sytuacja (warunki), w której istnieją przesłanki (potencjał) do wywołania obrażeń, choroby lub śmierci; zniszczenia lub utraty sprzętu lub innej własności oraz deprecjacji zadania. Z kolei ryzyko jest bezpośrednim następstwem zagrożenia i jako takie stanowi kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia oraz jego skutków²¹.

Ogólny schemat procesu zarządzania ryzykiem ze szczególnym naciskiem na pierwsze dwa kroki postępowania przedstawiono na rysunku 18.

Z informacji przedstawionych na rysunku 18 wynika, że pierwszym krokiem identyfikacji zagrożeń jest analiza zadania, która może być prowadzona w różny sposób i w różnym zakresie, w zależności od rodzaju i charakteru zadania. Wielość i różnorodność możliwych zadań nie oznacza jednak, że nie można wyodrębnić przynajmniej kilka uniwersalnych punktów takiej analizy, pasujących do różnorodnych zastosowań. Wśród nich z pewnością warto wymienić: przegląd

20 *Joint Operations*, JP 3-0, United States Joint Forces Command, Washington 2011, s. III-14.

21 *Risk Management*, Pamphlet 385-30, Department of the Army, Washington 2014, s. 3.

planu operacji i otrzymanych rozkazów, zdefiniowanie wymagań i warunków niezbędnych do wykonania zadania oraz wyodrębnienie poszczególnych faz zadania (operacji), najlepiej w sekwencjach czasowych. Czasami jednak ocena zagrożenia realizowana będzie bez żadnego, wcześniej otrzymanego zadania, na przykład po to, aby przeanalizować stan przygotowania społeczeństwa, państwa lub instytucji do hipotetycznych zagrożeń. W takiej sytuacji kolejny krok, czyli lista zagrożeń będzie wykonywany w stosunku do wszelkich możliwych warunków i implikacji wskazujących możliwe zagrożenia, bez przewiązania do konkretnego miejsca, czasu i zadania. Lista możliwych zagrożeń powinna być skorelowana z ich przyczynami, pamiętając, że każde zagrożenie może mieć ich kilka.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *CBRN Defence on Operations*, ATP-3.8.1, Volume I, STANAG 2521, Brussels 2010, s. 5D-2; *Risk Management*, FM 3-100.12, Fort Monroe, Quantico, Newport, Maxwell Air Force Base 2001, s. 1-4.

Rysunek 18. Etapy procesu zarządzania ryzykiem

Właściwa identyfikacja zagrożenia pozwala przejść do kolejnego kroku i zająć się oceną zagrożenia. Ta z kolei składa się przynajmniej z trzech etapów, w których oceniamy prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia, jego skutki i ostateczny poziom ryzyka.

W piśmiennictwie funkcjonuje wiele metod oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia, jednak żadna z nich nie wydaje się uniwersalna. Korzystamy więc z bardzo różnorodnych analiz, badań i doświadczeń, bazując na sytuacjach, które wcześniej wystąpiły. W tym kontekście można uznać, że każda z metod

oceny prawdopodobieństwa będzie dobra, pod warunkiem, że będzie uwzględniać wszystkie lub prawie wszystkie okoliczności i warunki danego zdarzenia. Z doświadczenia wiadomo, że takie możliwości rzadko są dostępne, dlatego oceny tego typu będą miały raczej szacunkowy lub nawet intuicyjny charakter. Takie podejście rodzi jednak liczne pułapki, które utrudnią lub uniemożliwią poprawną ocenę ryzyka. Do najważniejszych można zaliczyć: nadmierny optymizm lub pesymizm (brak realizmu); indywidualne, „obciążone” podejście do problemu (uprzedzenia); zła interpretacja lub niezrozumienie faktów; problemy z rozróżnieniem wagi problemów; trudności w liczbowym wyrażeniu ludzkiej natury i zachowań (liczby wprowadzają nadmierne uproszczenia, zamazując istotę problemu)²².

Aby uniknąć lub ograniczyć liczbę tego typu problemów wprowadzono taki system oceny ryzyka, w którym porównuje się określone kategorie (poziomy) prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia z odpowiednimi kategoriami (poziomymi) ich ewentualnych skutków.

Możliwe poziomy prawdopodobieństwa wystąpienia danego zagrożenia oraz jego skutków (wagi zagrożenia) przedstawiono w tabelach 21 i 22.

Tabela 21

Kategorie prawdopodobieństwa w procesie zarządzania ryzykiem

Prawdopodobieństwo	Symbol	Opis występowania	Liczbowo
CZĘSTE	A	ciągłe, regularne, nieuniknione	$\geq 10^{-1}$
PRAWDOPODOBNE	B	pojedyncze lub liczne	$10^{-1}-10^{-2}$
OKAZJONALNE	C	sporadyczne lub przerywane	$10^{-2}-10^{-3}$
RZADKIE	D	nieczęste	$10^{-3}-10^{-6}$
NIEPRAWDOPODOBNE	E	możliwe, choć mało prawdopodobne	$< 10^{-6}$

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Risk Management*, Pamphlet 385-30, wyd. cyt., s. 6; *Department of Defense Standard Practice, System Safety*, MIL-STD-882, Department of Defense Washington 2012, s. 91.

Przedstawione wyżej kategorie prawdopodobieństwa i skutków zagrożenia nie stanowią uniwersalnego rozwiązania, a jedynie przykład wskazujący jak można takie problemy rozpatrywać. W rzeczywistości wszystkie kategorie powinny być dopasowane do rodzaju i charakteru zagrożeń, bowiem tylko wtedy końcowy wynik oceny ryzyka będzie wiarygodny. Szczególne znaczenie ma to w sytuacji, gdy zagrożeniem są problemy generowane przez broń jądrową, której skala oddziaływania jest nieporównywalna z niczym innym.

22 Zob. *Risk Management*, wyd. cyt., s. II-2-II-3.

Tabela 22

Kategorie skutków zagrożenia w procesie zarządzania ryzykiem

Kategoria	Przykładowe konsekwencje
I KATASTROFICZNA	<ul style="list-style-type: none"> – całkowite fiasko misji lub utrata możliwości jej ukończenia; – śmierć lub całkowita, trwała niezdolność bojowa; – utrata głównych lub ważnych dla zadania systemów lub wyposażenia; – zniszczenie głównych obiektów lub mienia; – poważne szkody środowiskowe
II KRYTYCZNA	<ul style="list-style-type: none"> – znacząca degradacja możliwości bojowych lub gotowości jednostki; – ciągle, częściowe inwalidztwo lub hospitalizacja przynajmniej 3 osób; – rozległe zniszczenia głównego sprzętu i wyposażenia; – znaczące szkody w stosunku do własności i środowiska
III UMIARKOWANA	<ul style="list-style-type: none"> – degradacja możliwości bojowych lub gotowości jednostki; – znaczna strata czasu z powodu chorób lub obrażeń; – drobne szkody w stosunku do wyposażenia, własności i środowiska
IV NIEISTOTNA	<ul style="list-style-type: none"> – minimalne szkody lub obrażenia; – mały wpływ lub jego brak na gotowość bojową i zadanie; – drobne problemy medyczne; – drobne szkody w stosunku do własności i środowiska lub ich brak

Źródło: *Risk Management*, ATP 5-19, wyd. cyt., s. 1–9.

Po ustaleniu prawdopodobieństwa i skutków danego zagrożenia pozostaje już tylko ostatni punkt oceny zagrożenia, który można zwizualizować w postaci maczyzy oceny ryzyka. W maczyzy poszczególne poziomy ryzyka zazwyczaj określa się kolorami lub słownie jako bardzo wysokie, wysokie, średnie lub niskie. Przykładowy układ maczyzy ryzyka przedstawiono w tabeli 23.

Tabela 23

Maczyza oceny ryzyka

Prawdopodobieństwo zagrożenia	Skutki zagrożenia			
	Katastroficzne I	Krytyczne II	Umiarkowane III	Nieistotne IV
Częste A	Bardzo wysokie	Bardzo wysokie	Wysokie	Średnie
Prawdopodobne B	Bardzo wysokie	Wysokie	Średnie	Niskie
Okazjonalne C	Wysokie	Wysokie	Średnie	Niskie
Rzadkie D	Wysokie	Średnie	Niskie	Niskie
Nieprawdopodobne E	Średnie	Niskie	Niskie	Niskie

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Risk Management*, ATP 5-19, wyd. cyt., s. 1–7; *Department of Defense Standard Practice, System Safety*, wyd. cyt., s. 12.

Praktyczne znaczenie tak wyrażonej oceny może być bardzo różne, w zależności od rodzaju ocenianych zagrożeń, szczegółowości rozważań oraz okoliczności im towarzyszących. Dodatkowo warto przypomnieć, że jest to tylko propozycja, która może być dowolnie modyfikowana, w zależności od potrzeb i możliwości interpretacji. Jako przykład pewnej innowacji można wskazać rozwiązanie zaproponowane w opracowaniu „*Antiterrorism*”, gdzie obok prawdopodobieństwa i skutków zagrożenia wprowadzono dodatkowy element oceny, jakim jest „krytyczność”²³. Krytyczność może być określana w stosunku do kluczowych środków, ludzi, systemów komputerowych, informacji lub infrastruktury, czyli tych elementów, które mają zasadnicze znaczenie przy wykonywaniu zadania lub w sytuacji, gdy ich utrata wiąże się z bardzo poważnymi i często nieodwracalnymi zmianami w zasobach, populacji lub środowisku. Przykład oceny uwzględniającej trzy składniki oceny ryzyka przedstawiono w tabeli 24.

Tabela 24

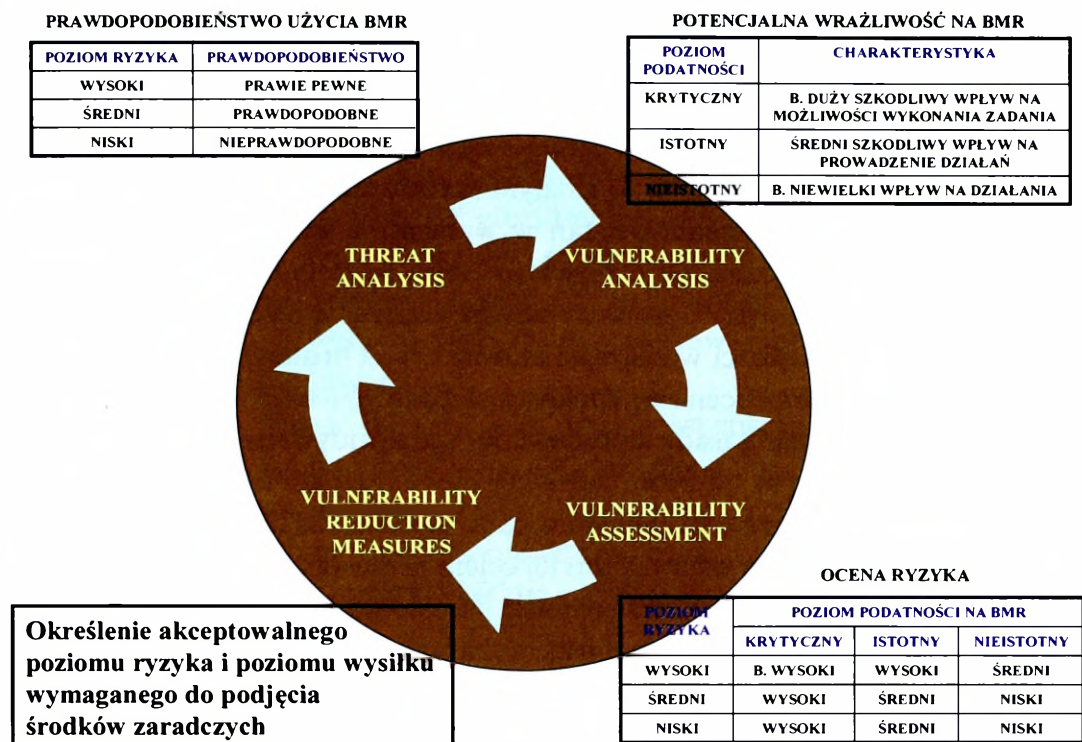
Trzyskładnikowa ocena ryzyka

Rodzaj zagrożenia	Krytyczność (K) (1–10)	Prawdopodobieństwo (P) (1–10)	Skutki (S) (1–10)	Ocena ryzyka (K x P x S)
Zagrożenie 1	8	3	8	192
Zagrożenie 2	6	7	4	168
Zagrożenie 3	9	6	5	270
Zagrożenie 4	4	8	2	64

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Antiterrorism*, wyd. cyt., s. E-17.

W praktyce funkcjonuje wiele metod oceny ryzyka, wśród których część z nich znacznie się różni, jednak w większości przypadków różnice nie są duże i sprowadzają się do innego nazewnictwa, różnej liczby poziomów lub nieco innego układu samego procesu oceny. Bardzo często zamiast skutków danego zagrożenia określana jest tzw. wrażliwość (*vulnerability*), która określa nasze słabe strony i podatność na oddziaływanie zagrożenia. Przykładowe podejście do ustalenia poziomu ryzyka wynikającego z użycia lub groźby użycia broni masowego rażenia przedstawiono na rysunku 19.

23 *Antiterrorism*, JP 3-07.2, United States Joint Forces Command, Suffolk 2010, s. E-1.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *MTTP for nuclear, biological, and chemical vulnerability assessment*, Fort Leonard Wood, Quantico, Newport, Maxwell 2004.

Rysunek 19. Określanie ryzyka BMR i zakresu środków zaradczych

4.3. Ocena możliwości w zakresie OPBMR

Decyzja o użyciu broni jądrowej to z pewnością jeden z najbardziej dramatycznych, najtrudniejszych i najbardziej brzemiennych w skutki wyborów. Potwierdzeniem tej opinii jest jej ogromny potencjał niszczenia oraz całkowicie nieobliczalne skutki użycia, szczególnie w wymiarze społecznym, politycznym i ekologicznym. W takim kontekście, uważa się, że każdy rodzaj zaangażowania wojskowego pociąga za sobą konieczność „przewidywania” wszystkich zagrożeń, w tym także tych, które zakładają użycie broni jądrowej²⁴.

Dotychczas przedstawiono podstawowe uwarunkowania oceny zagrożenia od broni jądrowej, w aspekcie procesów podejmowania decyzji podczas planowania działań bojowych. Wiadomo jednak, że po procesie planowania kontynuowane są dalsze czynności, które zależnie od narodowych uwarunkowań i regulacji mogą

24 Por. *Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Consequence Management*, JP 3-41, US Northern Command, Washington 2012.

przybierać różne nazewnictwo. Nie wdając się jednak, w głębsze interpretacje pozostaniemy przy rozwiązaniach amerykańskich, w których proces prowadzenia działań (*operations process*) obejmuje takie etapy, jak: planowanie (*planning*), przygotowanie (*preparation*), wykonanie (*execution*) oraz proces o charakterze ciągłym – ocenę (*assessment*)²⁵. W każdym z tych etapów prowadzi się ciągłą ocenę możliwości prowadzenia działań w warunkach użycia broni masowego rażenia, przy czym wyróżnia się cztery typy ocen. Są to ocena zagrożenia BMR (*CBRN threats and hazards*)²⁶, ocena środowiska operacyjnego (*operational environment*), ocena możliwości w zakresie obrony przed bronią masowego rażenia (*CBRN capabilities*) oraz ocena wrażliwości na BMR (*friendly vulnerabilities*)²⁷.

Mając na względzie zasady opracowania „przewidywanej sytuacji skażeń” w warunkach zagrożenia od broni jądrowej można uznać, iż wśród wymienionych procesów największe znaczenie ma ocena zagrożenia. Tak wielka wartość tej oceny wynika z faktu, iż podstawowym jej celem jest ustalenie prawdopodobieństwa wykonania uderzeń jądrowych, w ściśle określonym czasie i okolicznościach. A to z kolei oznacza, że wszystkie dalsze oceny, a szczególnie ich wiarygodność i przydatność będą zależały od tego, z jaką dokładnością określono prawdopodobieństwo i okoliczności przyszłych ataków.

Ocena zagrożenia od broni jądrowej bazuje na przedstawionych wcześniej procesach IPPW oraz IPOE i obejmuje trzy zasadnicze aspekty: intencje (zamiary), możliwości (potencjał) oraz sposobność²⁸.

Sposobność traktowana jest, jako okazja do maksymalnego wykorzystania środków rażenia przeciwnika w stosunku do najbardziej wrażliwych celów, w najbardziej sprzyjających mu warunkach i okolicznościach. Z kolei intencje wynikają z celów zakładanych przez przeciwnika i są pochodną szeregu złożonych czynników, które w efekcie mają doprowadzić do wywołania chaosu, skażeń, strat w ludziach, zniszczenia obiektów czy zwykłej demonstracji siły. Przykład możliwej typologii potencjalnych celów użycia broni jądrowej przedstawiono w dalszej części rozważań.

25 *The Operations Process*, ADRP 5-0, Department of the Army, Washington 2012, s. 1-2.

26 W tym znaczeniu *threats* należy traktować, jako zagrożenia spowodowane celowym użyciem BMR, natomiast *hazards* jako niebezpieczeństwo wywołane przypadkowym uwolnieniem środków niebezpiecznych. W przypadku broni jądrowej te drugie nie mają zastosowania, gdyż każde użycie broni jądrowej traktowane jest jako celowe.

27 *Multi-service tactics, Techniques, and Procedures for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Aspects of Command and Control*, ATTP 3-11.36, Washington, Quantico, Newport, Tyndall Air Force Base 2010, s. 1-4.

28 Tamże, wyd. cyt., s. 2-2.

Spośród wszystkich trzech aspektów oceny zagrożenia bronią jądrową najbardziej jednoznaczna wydaje się ocena możliwości przeciwnika, którą można zdefiniować po odpowiedzi na następujące pytania:

- *Kto posiada broń jądrową?* Liczba posiadaczy jest stosunkowo niewielka, dlatego zdefiniowanie agresora nie powinno być problemem.
- *Jakie posiada rodzaje ładunków i środków przenoszenia?* Po zdefiniowaniu agresora na to pytanie też można odpowiedzieć, bowiem aktualny potencjał jądrowy każdego z nich jest w większości przypadków dobrze znany. Problemem może jedynie być broń taktyczna.
- *Kiedy może wykonać uderzenia?* To pytanie jest znacznie trudniejsze, chociaż niektóre zasady użycia broni jądrowej pozostały niezmiennione od czasów zimnej wojny, dlatego niektóre warianty ataku można przewidzieć. Trzeba jednak być przygotowanym na sytuacje, w których uderzenia jądrowe będą dla nas zaskoczeniem.
- *Gdzie może je wykonać?* Obiekty – cele (kategorie) ataków są doskonale znane i łatwo je przewidzieć.
- *Dlaczego chce użyć broni jądrowej w danym miejscu i czasie?* Odpowiedź bezpośrednio zależy od motywacji i celów zakładanych przez przeciwnika.
- *Jak zamierza to zrobić?* Zależy od zamiarów przeciwnika²⁹.

Prawdopodobieństwo użycia broni jądrowej można też określić w formie algorytmu przedstawionego na rysunku 20.

Znając prawdopodobieństwo i możliwe okoliczności użycia broni jądrowej można określić tzw. poziomy zagrożenia. W piśmiennictwie znajdziemy przynajmniej kilka ich interpretacji, według których wyróżniamy od czterech do siedmiu poziomów. Szczegółowy ich opis zostanie przedstawiony w dalszej części.

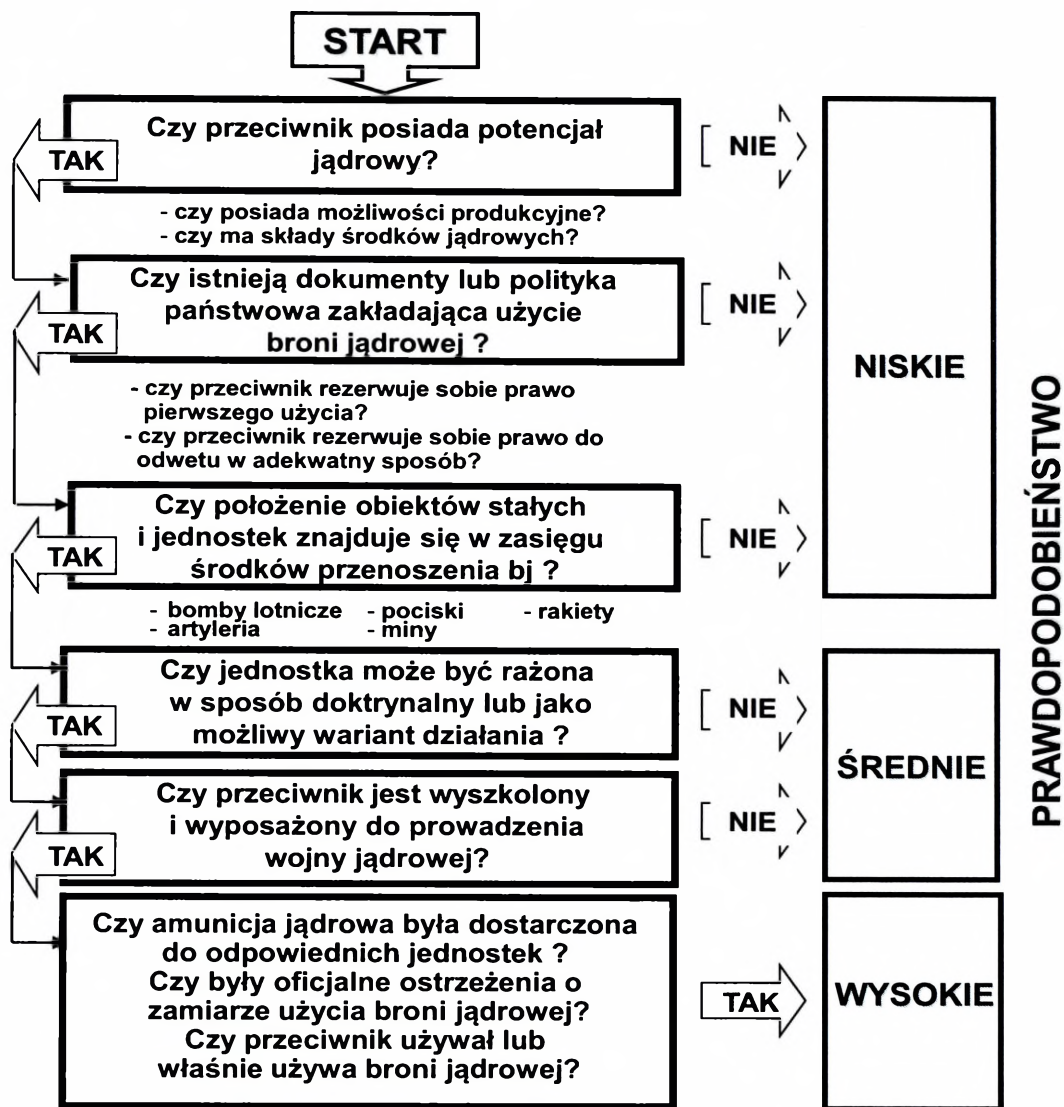
Drugim etapem oceny możliwości prowadzenia działań w warunkach użycia broni masowego rażenia jest ocena środowiska operacyjnego. Realizowana jest w sposób bardzo podobny do tego, który przedstawiono wcześniej podczas omawiania pierwszego i drugiego etapu informacyjnego przygotowania pola walki. Podczas oceny, główny nacisk położony jest na ocenę zmiennych operacyjnych (*operational variables*) i zadaniowych (*mission variables*).

Zmienne operacyjne określone zostały akronimem PMESII-PT, który oznacza takie zmienne jak: polityczne (*political*), militarne (*military*), gospodarcze (*economic*), socjalne (*social*), informacyjne (*information*), infrastrukturalne (*infrastructure*), środowiska fizycznego (*physical environment*) oraz czasowe (*time*)³⁰. Wymienione zmienne są szczegółowo rozpatrywane na każdym poziomie działań,

29 Zob. *Multi-service tactics, Techniques, and Procedures for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Aspects of Command...*, wyd. cyt., Appendix D.

30 *Operations*, FM 3-0, Department of the Army, Washington 2008, s. 1-5–1-8.

choć zasadniczo przeznaczone są do planowania na wyższych szczeblach, na przykład podczas operacji lub kampanii. Zakres rozpatrywanych problemów też nie jest stały ani jednorodny, gdyż bezpośrednio zależy od specyfiki planowanych działań, a zwłaszcza od ich charakteru, dynamiki i stopnia zaangażowania kluczowych podmiotów. Jednak niezależnie od wszelkich ograniczeń i uwarunkowań zmienne operacyjne mają decydujące znaczenie dla właściwego zrozumienia środowiska operacyjnego, zapewniając możliwość skutecznego zaplanowania działań na każdym szczeblu i w każdej sytuacji.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Multi-service tactics, Techniques, and Procedures for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Aspects of Command...*, wyd. cyt., s. D-10.

Rysunek 20. Ocena prawdopodobieństwa użycia broni jądrowej

Zmienne operacyjne można także rozpatrywać w ujęciu systemowym, w którym poszczególne zmienne są traktowane jak podsystemy, które pozostają w ścisłych relacjach między sobą, a jednocześnie stanowią jednolitą całość³¹. System składa się z tzw. węzłów (*nodes*) i łączy (*links*). Te pierwsze oznaczają namacalne elementy wewnątrz systemu, które są bezpośrednio związane z określonym rodzajem czynności czy działań. Wśród nich zazwyczaj wyróżnia się: osoby, miejsca, obiekty, a nawet sprzęt i pojedyncze rzeczy. Łączy to z kolei nic innego jak behawioralne i funkcjonalne relacje między poszczególnymi węzłami, które zapewniają pełną funkcjonalność systemu i wzajemną interoperacyjność. Dzięki takiemu podejściu decydenci poszczególnych szczebli dowodzenia (kierowania) mają możliwość poznania jak funkcjonują poszczególne systemy oraz zrozumienia łączących ich relacji.

Po otrzymaniu zadania lub zarządzenia przygotowawczego uwaga decydenta (dowódcy) przenosi się na inny rodzaj zmiennych, takich które mają bezpośredni wpływ na wykonanie zadania. Z tego powodu nazwano je zmiennymi zadaniowymi (*mission variables*) METT-TC. Obejmują one sześć oddzielnych kategorii tematycznych, wśród których znajdziemy: zadanie (*mission*), przeciwnika (*enemy*), teren i warunki meteorologiczne (*terrain and weather*), siły i dostępne wsparcie (*troops and support available*), dostępny czas (*time available*) oraz aspekty cywilne (*civil considerations*). Szczegółowy zakres wszystkich zmiennych, wpływających na wykonanie konkretnego zadania przedstawiono w tabeli 25.

Z dotychczasowych rozważań wynika konkluzja, według której zarówno zmienne operacyjne, jak i zadaniowe odgrywają niebagatelną rolę w prawidłowej ocenie środowiska operacyjnego. Ta zaś, wraz z oceną zagrożenia od BMR jest niezbędna do oszacowania realnych możliwości prowadzenia działań w warunkach użycia broni masowego rażenia oraz do określenia ewentualnych skutków takich działań. Taka analiza będzie jednak pełna, dopiero po rozpatrzeniu dwóch kolejnych etapów tej oceny, tj. oceny możliwości w zakresie obrony przed bronią masowego rażenia oraz oceny wrażliwości na BMR.

Ocena możliwości w zakresie obrony przed bronią masowego rażenia ma na celu utrzymywanie gotowości obronnej na takim poziomie, który będzie umożliwiał swobodne prowadzenie działań bojowych w warunkach użycia broni masowego rażenia, przy jak najmniejszych stratach w ludziach lub sprzęcie. W zasadzie można uznać, że ocena ta nie jest żadnym etapem lecz procesem ciągłym, w którym trwa nieustanna analiza przygotowania sił, środków i rozwiązań organizacyjnych, pod kątem ich użyteczności w warunkach użycia BMR. Są przy tym rozpatrywane takie elementy jak: struktura organizacyjna wojsk, siła bojowa, wyposażenie, logistyka, wyszkolenie, łączność, przywództwo, infrastruktura obronna, urządzenia, gotowość bojowa i wiele innych.

31 *Joint Intelligence Preparation of the Operational Environment*, wyd. cyt., s. II-44–II-54.

Zmienne zadaniowe

Lp.	Zmienne	Opis
1.	Zadanie	Zadanie określa cel działania i jego powód, a ponadto wskazuje, jakie działania powinny być podjęte. Jest punktem wyjścia w procesie podejmowania decyzji i obejmuje pytania – kto, co, kiedy, gdzie i dlaczego?
2.	Przeciwnik	Obejmuje dyspozycję przeciwnika (w tym organizacja, siła, położenie oraz mobilność), doktrynę, wyposażenie, możliwości, słabości i prawdopodobny wariant działania.
3.	Teren i warunki meteo	Teren i pogoda to zmienne, które zawsze występują razem, mając istotny wpływ na prowadzenie działań bojowych. Teren obejmuje cechy naturalne (np. rzeki i góry) i sztuczne (takie jak miasta, lotniska i mosty). Wojskowe aspekty pogody to widoczność, wiatr, opady, zachmurzenie, temperatura, wilgotność.
4.	Siły i dostępne wsparcie	Rozpatrywane w zakresie: liczby, typu, możliwości i warunków dostępności sił i wsparcia. Obejmuje zaopatrzenie, serwis oraz wsparcie dostarczane przez różne podmioty wojskowe i cywilne.
5.	Dostępny czas	Oznacza czas niezbędny do planowania, przygotowania oraz wykonania zadania. Obejmuje czas potrzebny do ześrodkowania, rozwinięcia i manewru jednostek w stosunku do przeciwnika oraz istniejących warunków.
6.	Aspekty cywilne	Oznaczają wpływ sztucznej infrastruktury, instytucji cywilnych, działalności poszczególnych liderów, populacji oraz wszelkich działań w rejonie operacji na prowadzenie działań bojowych. Obejmuje sześć elementów wyrażonych akronimem ASCOPE. Są to: obszary (areas), struktury (structures), możliwości (capabilities), organizacje (organizations), ludzie (people) oraz zdarzenia (events).

Źródło: *The Operations Process*, ADRP 5-0, wyd. cyt., s. 1–9.

Ostatnim etapem tych rozważań jest ocena ryzyka w zakresie użycia BMR, która obejmuje analizę wrażliwości na BMR (lub inaczej skutków jej oddziaływania) oraz wskazanie odpowiednich metod redukcji zagrożenia. Całość rozważań prowadzona jest na bazie wcześniej przygotowanej oceny zagrożenia, którą konfrontujemy ze wszystkimi słabościami, wynikającymi ze słabego wyszkolenia, złego przygotowania lub z nieodpowiedniego wyposażenia. Analiza wrażliwości na BMR obejmuje bardzo różne obszary, jednak za najważniejsze uważa się: rozpoznanie skażeń, ostrzeganie i alarmowanie o zagrożeniu, dekontaminację oraz indywidualną i zbiorową ochronę przed skażeniami. Dodatkowo ocenia się przygotowanie wszystkich obiektów w całym obszarze zainteresowania, wskazując ich słabe strony i określając środki przeciwdziałania. W efekcie powinniśmy poznać swoje słabości, określić prawdopodobieństwo negatywnego rozwoju sytuacji oraz przewidzieć potencjalny wpływ określonego ryzyka na całokształt środowiska operacyjnego w sytuacji, gdy dojdzie do pełnej materializacji zagrożenia.

Wszystkie przedstawione dotychczas metody oceny zagrożenia stanowią doskonały przykład możliwości przygotowania danych do opracowania „przewidywanej” sytuacji skażeń, bez potrzeby samodzielnego poszukiwania danych, które dla osób zajmujących się prognozowaniem skażeń są zwykle niedostępne lub co najmniej trudne do zdobycia. Tym samym można założyć, że właściwa współpraca ośrodków analizy skażeń z zespołami rozpoznania, operacyjnym i rodzajów wojsk będzie najlepszym sposobem na rozwiązanie problemu zdobywania informacji o zagrożeniu i przygotowanie w ten sposób bazy wyjściowej do prognozowania skutków realnych i hipotetycznych uderzeń bronią masowego rażenia, a zwłaszcza bronią jądrową.

Wyniki oceny zagrożenia bronią jądrową mogą mieć dwójaki charakter, zarówno ten sformalizowany, w postaci ściśle ustalonych poziomów zagrożenia, jak i bardziej nieokreślony, przedstawiany, jako zbiór prawdopodobnych celów (obiektów) rażenia.

4.4. Zagrożenie bronią jądrową

4.4.1. Poziomy zagrożenia od broni jądrowej

Broń jądrowa to najsilniejsza a zarazem najbardziej spektakularna broń, jaką wymyślił i wyprodukował człowiek, a skutki jej użycia są nieporównywalne z jakimkolwiek innym rodzajem broni. Nie dziwi więc fakt, że jednym z ważniejszych elementów oceny sytuacji jest ciągła analiza i aktualizacja poziomu zagrożenia od broni jądrowej. Podstawą do ustalenia właściwych poziomów zagrożenia są procesy oceny zagrożenia, przedstawione w poprzednich rozdziałach. Przez lata dokumentem normatywnym, który określał charakter i wymogi poszczególnych poziomów zagrożenia był STANAG 2984³². Obecnie został on włączony do STANAGU 2521, który wyróżnia cztery poziomy zagrożenia: NISKI – ryzyko mało prawdopodobne (*unlikely*), ŚREDNI – ryzyko wiarygodne (*credible*), ZNA-CZĄCY – ryzyko prawdopodobne (*probable*) oraz WYSOKI – ryzyko bardzo prawdopodobne (*highly likely*). Poziomy oznaczono też kolorami, odpowiednio: zielonym, żółtym, pomarańczowym i czerwonym³³.

Poziom NISKI (zielony) oznacza, że przeciwnik może posiadać wyposażenie jądrowe (urządzenia lub ładunki), środki przenoszenia oraz intencje ich użycia

32 *Graduated levels of NBC threat and associated protection*, STANAG 2984, NSA, Brussels, różne wydania.

33 *CBRN Defence on Operations*, ATP-3.8.1, Volume I, wyd. cyt., s. 9A-3.

przeciwko siłom NATO. Mimo to prawdopodobieństwo takich zdarzeń ocenia się na mało prawdopodobne, gdyż żadne wskaźniki lub informacje tego nie potwierdzają. Ze względu na brak zagrożenia ze strony broni jądrowej nie jest konieczne noszenie indywidualnych środków ochrony. Zaleca się jedynie zakończenie standardowego szkolenia z OPBMR oraz zapewnienie niezbędnego minimum sprawności sprzętu ochrony przed skażeniami.

Poziom ŚREDNI (żółty) to stan, w którym przeciwnik posiada ofensywne możliwości użycia broni jądrowej przeciwko siłom NATO, lecz aktualnie nie ma żadnych przesłanek świadczących o możliwości użycia tej broni w najbliższym czasie (zwykle w ciągu 12 godzin).

Powyższa ocena bazuje na braku oznak przygotowywania się do działań z użyciem broni jądrowej takich jak: pozostawienie amunicji specjalnej w miejscach jej stałego przechowywania, brak jej dystrybucji na stanowiska ogniowe lub lotniska oraz znajomości celu działania i priorytetów przeciwnika, które nie zakładają użycia broni jądrowej w tej fazie działań.

W okresie tym prowadzi się zwykle szereg czynności mających doprowadzić do szybkiego osiągnięcia gotowości ochronnej przed BMR, na wypadek jej użycia. Najczęściej są to:

- zakończenie treningów doskonalących z OPBMR, a zwłaszcza z zakresu posługiwania się indywidualnymi i zbiorowymi środkami ochrony przed bronią jądrową;
- sprawdzenie wyposażenia wojsk w sprzęt chemiczny;
- wyznaczenie miejsc do prowadzenia zabiegów specjalnych i sanitarnych na wypadek skażeń;
- opracowanie planów wyposażenia schronów i ukryć;
- sprawdzenie urządzeń filtrowentylacyjnych pojazdów i schronów;
- intensyfikacja rozpoznania w zakresie wczesnego wykrycia intencji użycia broni jądrowej.

Poziom ZNACZĄCY (pomarańczowy) wskazuje, że przeciwnik posiada zarówno możliwości, jak i intencje w zakresie użycia broni jądrowej przeciwko siłom NATO. Jest dobrze wyposażony i wyszkolony w tym zakresie, a ponadto istnieją silne przesłanki wskazujące, że przeciwnik zamierza przejść do działań z użyciem broni jądrowej w najbliższym czasie. O przygotowaniach do użycia broni jądrowej mogą świadczyć: stosowanie broni jądrowej w innym obszarze, oficjalne ostrzeżenie przeciwnika o zamiarze użycia broni jądrowej lub pogrożki w mediach, wykrycie pododdziałów likwidacji i rozpoznania skażeń w ugrupowaniu oddziałów będących w styczności, zwiększony ruch przy obsłudze systemów raketowych, dowóz amunicji specjalnej na SO oraz noszenie przy sobie indywidualnych środków ochrony przed skażeniami.

Poziom WYSOKI (czerwony) to stan, w którym przeciwnik posiada pełne możliwości użycia broni jądrowej przeciwko siłom NATO, a jego zamiary wskazują na jej użycie w najbliższym, ściśle określonym czasie, w stosunku do konkretnych, wybranych obiektów. O nieuchronności ataku świadczyć mogą: ataki bronią jądrową na innych obszarach, dostarczanie amunicji jądrowej na stanowiska startowe rakiet lub przechwycenie meldunku ostrzegającego o uderzeniach jądrowych.

Do podstawowych czynności zapobiegawczych w tym okresie należy: informowanie stanów osobowych o wzroście zagrożenia, wprowadzenie dyscypliny poruszania się w terenie, ciągła detekcja skażeń promieniotwórczych, a także maksymalne wykorzystanie zbiorowych środków ochrony przed skażeniami.

Spotka się też podejście, iż najwyższy poziom zagrożenia traktowany jest jako dwa odrębne stany, w których najważniejszą różnicą jest obecność skażeń w rejonie odpowiedzialności powstałych bezpośrednio po uderzeniu bronią jądrową. W pierwszym z nich prawdopodobieństwo ataku ocenia się jako nieuchronne, natomiast w drugim atak już nastąpił lub aktualnie trwa.

Określenie poziomu zagrożenia od broni jądrowej (a także od chemicznej i biologicznej) jest niezwykle istotnym zadaniem, od którego zależeć będzie nie tylko trafność podejmowanych decyzji, ale też skuteczność ich realizacji oraz bezpieczeństwo wszystkich osób. Poziom ochrony musi być ściśle powiązany z odpowiednim stanem zagrożenia, gdyż tylko w ten sposób uzyska się możliwość w miarę bezpiecznego działania w warunkach użycia broni jądrowej. Do tego celu wykorzystuje się informacje zdobywane w procesie informacyjnego przygotowania pola walki. Są to przede wszystkim dane o wyszkoleniu i wyposażeniu przeciwnika, jego doktrynie i możliwościach użycia BMR oraz o ładunkach jądrowych i systemach ich przenoszenia. Wszystkie tego typu dane można wykorzystać w pierwszym etapie opracowania „przewidywanej” sytuacji skażeń, stwarzając dobrą podstawę do szczegółowych kalkulacji w zakresie przyszłych zniszczeń, skażeń i porażień spowodowanych przez hipotetyczne uderzenia jądrowe. W tym kontekście warto dodać, że same określenie poziomów zagrożenia ma tylko informacyjny i raczej formalny charakter, natomiast bardziej szczegółowe rozważania muszą obejmować szerszy zakres problemu, określający cele ataków i warunki użycia broni jądrowej.

4.4.2. Cel i warunki użycia broni jądrowej

Określenie zakresu użycia broni jądrowej w ewentualnym konflikcie jądrowym to bardzo poważne i niełatwe zadanie, gdyż obejmuje szereg czynników, które są nie tylko skomplikowane, ale także wyjątkowo trudne do przewidzenia. Mimo to wiadomo, że ostateczny sposób wykonania ataku jądrowego zależeć będzie głównie od doktryny, strategii, zamiarów, a przede wszystkim celów, które potencjalny

agresor będzie chciał osiągnąć. Określenie tych ostatnich nie jest łatwe, głównie dlatego, że cele ataku jądrowego można rozpatrywać w dwóch, całkowicie różnych aspektach – materialnym (wymiernym) i niematerialnym (niewymiernym). Określenie celów niematerialnych jest zwykle mniej skomplikowane niż w przypadku celów wymiernych. Czasami jednak, do określenia dowolnego celu niematerialnego istnieje konieczność sprecyzowania jednego lub kilku celów wymiernych, które w dodatku nie zawsze są skorelowane z celem ogólnym. Godząc się na uproszczenia, można przyjąć, że istnieją dwa rodzaje celów niewymiernych – polityczne oraz militarne. Te ostatnie są istotne tylko w przypadku bezpośredniej konfrontacji poszczególnych państw, natomiast cele polityczne mogą zostać osiągnięte nawet bez użycia wojsk. Tym samym nie dziwi fakt, że pokusa posiadania broni jądrowej wciąż pozostaje silna³⁴.

Polityczne cele użycia (lub groźby użycia) broni jądrowej znakomicie pasują także do zastosowań terrorystycznych, które jak wiadomo zazwyczaj zmiernają do wywołania paniki, destabilizacji władzy, wywołania strachu i ogólnego chaosu. Co prawda jest raczej wątpliwe, aby terroryści dysponowali pełnowartościową bronią jądrową, jednak ocenia się, że do takich celów nawet bardzo prymitywne konstrukcje mogą być wystarczająco przydatne³⁵. Ponadto trzeba też pamiętać, że istnieją państwa, których cele i sposoby działania zmiernają do unikania lub ograniczania międzynarodowych reżimów bezpieczeństwa i nieprolifracji broni jądrowej, przypominając w ten sposób działanie typowych organizacji terrorystycznych. Typowym przykładem takiego państwa jest Korea Północna, która co prawda posiada zaledwie kilka ładunków jądrowych, ale swoją postawą wielokrotnie udowodniła, że nie zamierza stosować się do jakichkolwiek traktatów i porozumień ograniczających możliwości wykorzystania tej broni³⁶. W tym kontekście użycie broni jądrowej może służyć do:

- *przewartościowania oceny w zakresie postrzegania możliwości i determinacji agresora;*
- *ukarania przeciwnika lub sił koalicyjnych za ich politykę i działania niezgodne z wolą agresora;*
- *zdezorganizowania życia na danym obszarze poprzez wytworzenie stref skażeń promieniotwórczych;*
- *zastraszenia przeciwnika i zmuszenia go do zmiany jego planów politycznych i militarnych;*

34 Zob. J. Garvey, *Nuclear Weapons Conterproliferation: A new Grand bargain*, Oxford University Press, Oxford 2013.

35 Zob. *Countering Weapons of Mass Destruction*, JP 3-40, US Strategic Command, Washington 2014, s. II-2.

36 Zob. D. Albright, *Future Directions In the DPRK's Nuclear Weapons Program: Three Scenarios For 2020*, US–Korea Institute at SAIS, Washington 2015.

- *rozbięcia koalicji antyterrorystycznej poprzez wstrząśnięcie opinią publiczną poszczególnych państw*³⁷.

Przedstawione wyżej cele użycia lub samego posiadania broni jądrowej w żaden sposób nie wyczerpują listy możliwych zastosowań, ale całkiem poprawnie wskazują na sposób i kierunek myślenia potencjalnego agresora – posiadacza broni jądrowej. Z militarnego punktu widzenia takiego agresora można zakwalifikować do trzech kategorii. Są to:

- mocarstwo jądrowe z zaawansowaną gospodarką i bazą technologiczną;
- lokalny przeciwnik chcący wykorzystać broń jądrową do zastraszenia sąsiadów;
- organizacja o charakterze pozapaństwowym a często terrorystycznym.

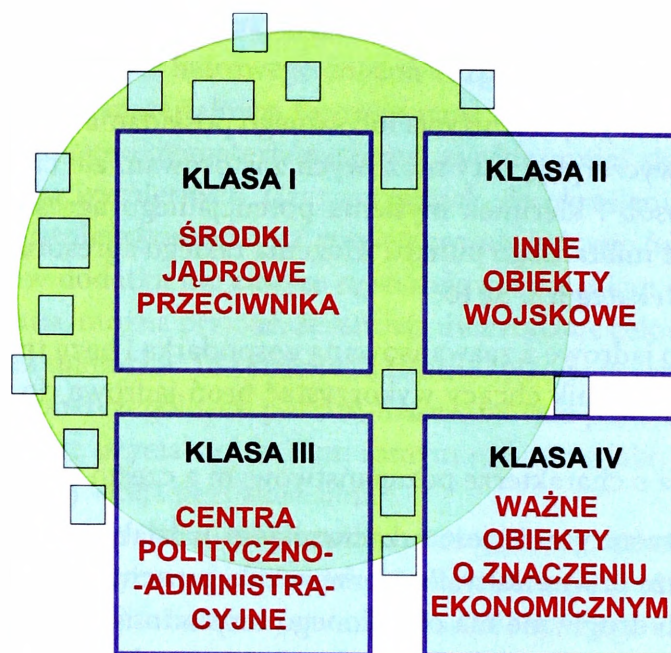
Ten ostatni teoretycznie jest przeciwnikiem najsłabszym, z drugiej jednak strony ma on także pewne atuty. Po pierwsze taki przeciwnik nie zawsze jest rozpoznawalny, a po drugie nie ma określonego terytorium, z którego może zaatakować. Tym samym zarówno miejsce, jak i moment ataku są często trudne do zidentyfikowania. Wszelkie działania przeciwko takim agresorom (w tym działania odwetowe) mogą być bardzo trudne. Kolejnym atutem mogą być liczne powiązania międzynarodowe terrorystów, przez co ich ataki mogą nastąpić w sposób skoordynowany z różnych, często nieprzewidzianych kierunków. Bardzo trudno będzie również określić skalę zagrożenia, gdyż działania terrorystów prowadzone są w głębokiej konspiracji, a dokładna ich inwigilacja jest zwykle niemożliwa.

Przedstawione wątpliwości wskazują, że sposób oceny przeciwnika jądrowego nie zawsze jest oczywisty i jednoznaczny, chociaż w tym przypadku wymiar terrorystyczny wydaje się najmniej prawdopodobny. Dlatego też do wszelkich ocen i rozważań przyjmowany jest wariant, w którym posiadaczem broni jądrowej jest państwo, i to niezależnie od potencjału, którym dysponuje.

Znacznie prostsza wydaje się klasyfikacja celów materialnych, która zazwyczaj obejmuje cztery wyraźne klasy obiektów. Są to: środki jądrowe, inne obiekty wojskowe, centra polityczno-administracyjne oraz ważne obiekty o znaczeniu ekonomicznym. Przedstawiono je na rysunku 21.

Z informacji przedstawionych na rysunku 21 wynika ustalona kolejność rażenia jądrowego poszczególnych obiektów (zaznaczono obszarem zacieniowanym). Jednak w sytuacjach, gdy potencjalny agresor nie dysponuje rozbudowanym arsenałem wojskowym, ataki na obiekty jądrowych sił przeciwnika zazwyczaj nie będą możliwe (są dobrze chronione), dlatego trzeba przewidzieć możliwość ataków na cele (obiekty) znacznie mniej przygotowane lub bardziej wrażliwe.

³⁷ J. Solarz, *Obrona przed środkami masowego rażenia w warunkach zagrożenia terrorystycznego*, AON, Warszawa 2006, s. 59.



Źródło: J. Solarz, *Obrona przed środkami...*, wyd. cyt.

Rysunek 21. Podział materialnych obiektów ataku jądrowego

Wydaje się więc, że najbardziej prawdopodobnymi celami ataku jądrowego będą obiekty zaliczane do III i IV klasy, czyli duże aglomeracje miejskie. Obiekty tego typu łączą w sobie zarówno centra decyzyjne (polityczne i wojskowe), ośrodki przemysłowe, skupiska naukowe oraz administrację różnego szczebla. Niszczenie ich ma na celu jednoczesne porażenie jak największej liczby obiektów pobocznych, które skupione w jednym miejscu stanowią bardzo opłacalny cel ataku jądrowego. Do tego jeszcze dochodzi eksterminacja ludności dużych miast, której celem jest osłabienie psychiki społeczeństwa, wyrobienie przekonania o nieuchronności kary dla wroga oraz zniechęcenie ewentualnych koalicjantów do jakiegokolwiek zaangażowania³⁸. Przykładowe zestawienie ewentualnych obiektów dla broni jądrowej na terytorium średniego kraju europejskiego przedstawiono w tabeli 26.

Z przedstawionych dociekań wynika, że liczba problemów związanych z oceną zagrożenia, generowanego przez użycie broni jądrowej ustawicznie rośnie. Ich skala oraz poziom trudności zależy od wielu rozmaitych czynników, których „przewidzenie” jest niezwykle trudne. Tym samym opracowanie „przewidywanej” sytuacji skażeń w oparciu o niepełne lub niesprawdzone informacje nie ma większego sensu, wprowadzając więcej zamieszania niż korzyści. Pamiętając

38 Zob. Ch.D. Ferguson, W.C. Potter, *The four faces of nuclear terrorism*, Monterey Institute – Center for Nonproliferation Studies, Monterey 2004.

o głównym celu prognozowania jakim jest zmniejszenie ryzyka w procesie podejmowania decyzji, nie można sobie pozwolić na proste błędy wynikające z niedoszacowania, nadinterpretacji czy zwykłego braku informacji. Tym samym z całą świadomością można przyjąć, że przewidywana sytuacja skażeń powinna być realizowana wyłącznie przez profesjonalistów, w oparciu o sprawdzone metody oceny zagrożenia/przeciwnika, bazujące na pełnej i dokładnej informacji oraz niezawodnych algorytmach.

Tabela 26

Potencjalne obiekty ataku jądrowego na obszarze średniego kraju

Lp.	Rodzaje obiektów	Liczba obiektów
1.	Rejony przemysłowe	5
2.	Ważne obiekty gospodarcze (punktowe)	5
3.	Węzły komunikacyjne (drogowe i kolejowe)	20
4.	Węzły łączności	10
5.	Magazyny i składy	25
6.	Większe miasta	10
7.	Elektrownie (w tym jądrowe) i rafinerie	10
8.	Porty morskie	3
RAZEM:		88

Źródło: opracowanie własne na podstawie: H. Michalski, *Pierwsze 100 godzin wojny nuklearnej*, MON, Warszawa 1969.

Wynika z tego konkluzja, według której samodzielne wykonywanie takiej oceny przez personel ośrodków analizy skażeń, bez dokładnej oceny zagrożenia, nie ma większego sensu. W takich sytuacjach bowiem, każdy „specjalistyczny” efekt oceny przewidywanej sytuacji skażeń³⁹ będzie wynikał z natury błędnej interpretacji zagrożenia, co w efekcie uniemożliwi wykonanie wiarygodnej prognozy, a każda inna będzie zupełnie nieprzydatna.

39 Mówiąc o „specjalistycznym” efekcie oceny mamy na myśli określanie konturów stref skażeń oraz innych parametrów je definiujących (dawki promieniowania, moce dawki, czas trwania skażenia itp.)

5

KONCEPTUALNO-PRAKTYCZNY WYMIAR PROGNOZOWANIA SKAŻEŃ JĄDROWYCH

5.1. Istota i cel opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń

Prowadzenie działań w warunkach użycia broni jądrowej jest zadaniem, które pod względem trudności daleko wybiega poza to, z czym mamy do czynienia w przypadku konfliktu o charakterze konwencjonalnym. Taka implikacja wynika głównie z ogromnej, nieporównywalnej z niczym skali rażenia tej broni, ale także ze stosunkowo niewielkich doświadczeń w tym zakresie.

Powszechnie wiadomo, że rażące oddziaływanie broni jądrowej przejawia się w postaci pięciu czynników rażenia, z których jeden – opad promieniotwórczy – ma bardzo specyficzne właściwości. W odróżnieniu od pozostałych czterech, ten pojawia się dopiero po pewnym czasie, lecz jego zasięg oddziaływania wielokrotnie przekracza wszelkie możliwe skutki jakiegokolwiek znanej broni. W efekcie, gdy pył promieniotwórczy naziemnego wybuchu jądrowego opadnie na powierzchnię ziemi powstają ogromne strefy skażeń, które na pewien czas uniemożliwiają lub znacznie utrudniają prowadzenie jakichkolwiek działań. Zazwyczaj takie zjawisko trwa kilka, kilkanaście a nawet kilkadziesiąt godzin¹. W takich przypadkach niezwykle ważną rolę odgrywa prognozowanie skażeń, które będąc uznaną formą wspomagania procesów decyzyjnych może znacznie ułatwić planowanie i prowadzenie działań. Obecnie przyjmuje się, iż w zależności od momentu usytuowania prognosty, w stosunku do przewidywanego, aktualnie wykonywanego lub już wykonanego uderzenia prognozowanie skażeń może polegać na opracowaniu trzech rodzajów sytuacji, to jest przewidywanej, prognozowanej lub **rzeczywistej** sytuacji skażeń².

Wśród nich najwyższą, a zarazem najpełniejszą formą prognozowania skażeń jest odtwarzanie rzeczywistej sytuacji skażeń. Zgodnie z paragrafem 56 instruk-

1 Czas, charakter oraz skala skażenia promieniotwórczego zależą od wielu czynników, wśród których najważniejsze to: rodzaj ładunku jądrowego, jego moc, prędkość i kierunek wiatru oraz opady atmosferyczne.

2 Zob. *Instrukcja Systemu Wykrywania Skażeń w Siłach Zbrojnych*, wyd. cyt., paragraf 53.

cji³ rzeczywistą sytuację skażeń ośrodki analizy skażeń opracowują na podstawie danych z monitoringu i rozpoznania skażeń. Jest to sytuacja przedstawiająca rzeczywiste położenie rejonów, które w wyniku wykonanych uderzeń BMR oraz zdarzeń typu ROTA znalazły się w strefach skażeń promieniotwórczych, biologicznych lub chemicznych oraz obszarach objętych rozprzestrzenianiem się par środków trujących.

Rozpatrując powyższe ustalenia łatwo zauważyć, że istnieje pewna logiczna sprzeczność pomiędzy ustalaniem **rzeczywistych** rejonów skażeń oraz ich **rzeczywistego** charakteru z istotą procesu prognozowania skażeń, która przypomnijmy dotyczy przewidywania **przyszłego** ich stanu i zjawisk im towarzyszących, [...] określających zależności przyczynowo-skutkowe zachodzących procesów w bliskim horyzoncie czasowym⁴.

Zestawienie rzeczywistości, traktowanej jako opis stanu lub faktów już zaistniałych z działaniami lub procesami, których głównym celem jest przewidywanie zjawisk mających wystąpić w przyszłości powoduje, że takie działania trudno nazwać prognozowaniem. Powstają przy tym dwa zasadnicze pytania – czy rzeczywistość w ogóle można prognozować oraz czy prognozowanie zawsze odnosi się do przyszłości? Okazuje się, że odpowiedź na tak postawione pytania nie jest prosta. W literaturze przedmiotu znajdziemy bowiem bardzo różne podejście do problemu prognozowania. Z. Hellwig uważa, że każdą prognozę należy rozpatrywać w kategorii prawdopodobieństwa. Zgodnie z tym twierdzi, że prognoza to *każdy sąd, którego prawdziwość jest zdarzeniem losowym, przy czym prawdopodobieństwo tego zdarzenia jest znane i wystarczająco duże*⁵. Inne podejście prezentuje A. Smoluk, według którego prognoza polega *na wnioskowaniu o rzeczach niedostępnych bezpośrednio poznaniu; przeszkodą może być czas, przestrzeń lub jeszcze coś innego*⁶.

Kluczem łączącym oba sposoby rozumowania jest odniesienie do zdarzeń nieznanych, będących przedmiotem procesu oceny i szacowania. Końcowym rezultatem jest sąd, który jest całkowicie niezależny od czasu wystąpienia tych zdarzeń. Takie podejście pozwala na szacowanie zarówno zdarzeń przeszłych, teraźniejszych, jak i przyszłych. Jednym z bardziej znanych przykładów wnioskowania, niezależnego od czasu jest szacowanie złóż ropy naftowej lub innych surowców naturalnych. W takich przypadkach możemy rozpatrywać różnorodne aspekty

3 Tamże.

4 J. Solarz, *Prognozowanie skażeń chemicznych i promieniotwórczych w świetle standardów NATO, część I. Skażenia promieniotwórcze*, wyd. cyt, s. 7.

5 Zob. Z. Hellwig, *Schemat budowy prognozy statystycznej metodą wag harmonicznych* [w:] „Przegląd Statystyczny” z. 2, 1967, s. 258.

6 A. Smoluk, *Matematyka, nauka, ekonomia*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1993, s. 83.

tego, co było, tego, co aktualnie jest, ale także tego, z czym będziemy mieć do czynienia w przyszłości.

Brak odniesienia do czasu szacowanych zdarzeń nie przekonuje jednak wielu znawców problemu, głównie z powodu elementarnego związku terminu prognoza ze faktami lub zjawiskami, które dopiero nastąpią. Uważają oni, iż o prognozowaniu możemy mówić wyłącznie w odniesieniu do zdarzeń przyszłych i to niezależnie od prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Na przykład według Z. Czerwińskiego prognoza to *sąd o zajściu określonego zdarzenia w czasie określonym z dokładnością do momentu (punktu) lub okresu (przedziału) czasu, należącego do przyszłości*⁷. Z takim podejściem w pełni koresponduje główna funkcja prognozowania, jaką jest funkcja preparacyjna, według której prognozowanie jest działaniem, które ma ułatwiać podejmowanie przyszłych decyzji. Podobne podejście znajdziemy u Z. Pawłowskiego, W. Rolbieckiego, A. Filasiewicza, K. Secomskiego⁸.

Najbardziej rozwiniętą, a jednocześnie logicznie uzasadnioną, definicję prognozowania odnajdziemy w interpretacji Marii Cieślak⁹, według której prognozowanie jest pewną odmianą przewidywania. Te z kolei jest wnioskowaniem o zdarzeniach nieznanych na podstawie zdarzeń znanych. Nie ma przy tym znaczenia czy zdarzenia nieznanne należą do przeszłości czy przyszłości, chociaż zdecydowanie większe znaczenie mają te usytuowane w obszarze odnoszącym się do przyszłości. Wśród nich wyróżniamy racjonalne lub nieracjonalne przewidywanie przyszłości. Przewidywanie racjonalne to działanie, w którym proces wnioskowania przebiega w logicznie uzasadniony sposób zaczynając od przesłanek, poprzez ich interpretację, aż do konkluzji. Jeżeli sposób wnioskowania będzie oparty tylko na doświadczeniu wówczas mamy do czynienia z przewidywaniem zdroworozsądkowym, natomiast gdy dodatkowo wykorzystamy metody i reguły nauki otrzymamy przewidywanie naukowe.

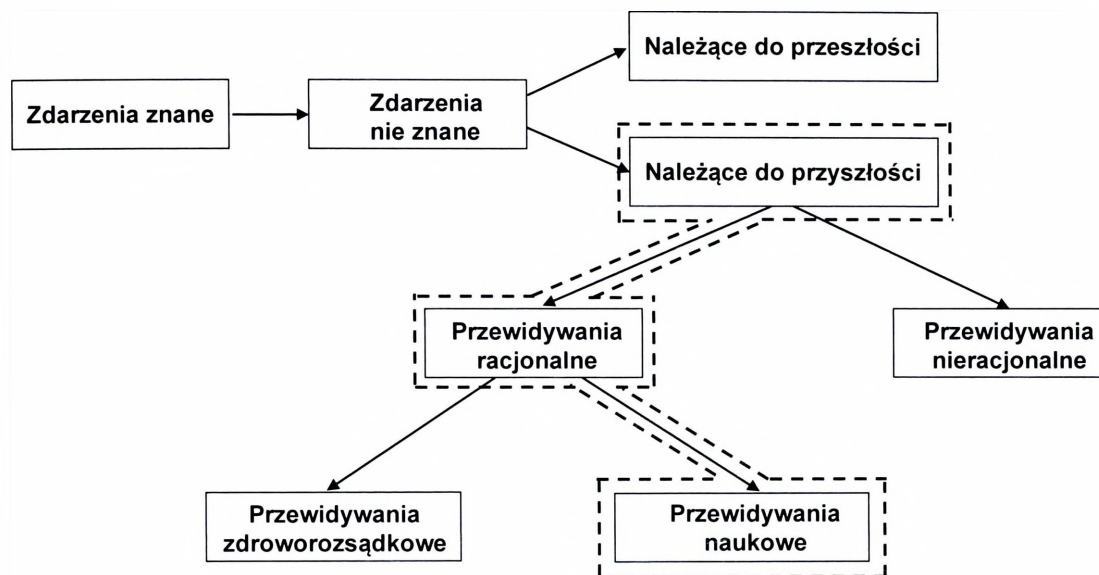
Drugi rodzaj przewidywania przyszłości to przewidywanie nieracjonalne. Mamy z nimi do czynienia wtedy, gdy występuje całkowity brak jakichkolwiek reguł logicznych, a końcowy rezultat zależy jedynie od „przecucia”, „proroctwa” czy zwykłego zgadywania. Taki rodzaj wnioskowania ma znikomą wartość naukową, chociaż nie można powiedzieć, iż jest całkowicie bezużyteczny.

Istotę i rodzaje procesu przewidywania przedstawiono na rysunku 22.

7 Z. Czerwiński, *Dylematy ekonomiczne*, PWE, Warszawa 1992, s. 220.

8 Por. Z. Pawłowski, *Zasady predykcji ekonometrycznej*, PWN, Warszawa 1982; W. Rolbiecki, *Przewidywanie przyszłości*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970; A. Filasiewicz *Prognoza, program, plan*, Wiedza Powszechna, Omega, Warszawa 1977; K. Secomski, *Prognozyka*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1971.

9 M. Cieślak (red.), *Prognozowanie gospodarcze, metody i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 18–23.



UWAGA: linią przerywaną zaznaczono kryteria odnoszące się do prognozowania.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: M. Cieślak, *Prognozowanie...*, wyd. cyt, s. 19.

Rysunek 22. Istota i rodzaje przewidywania

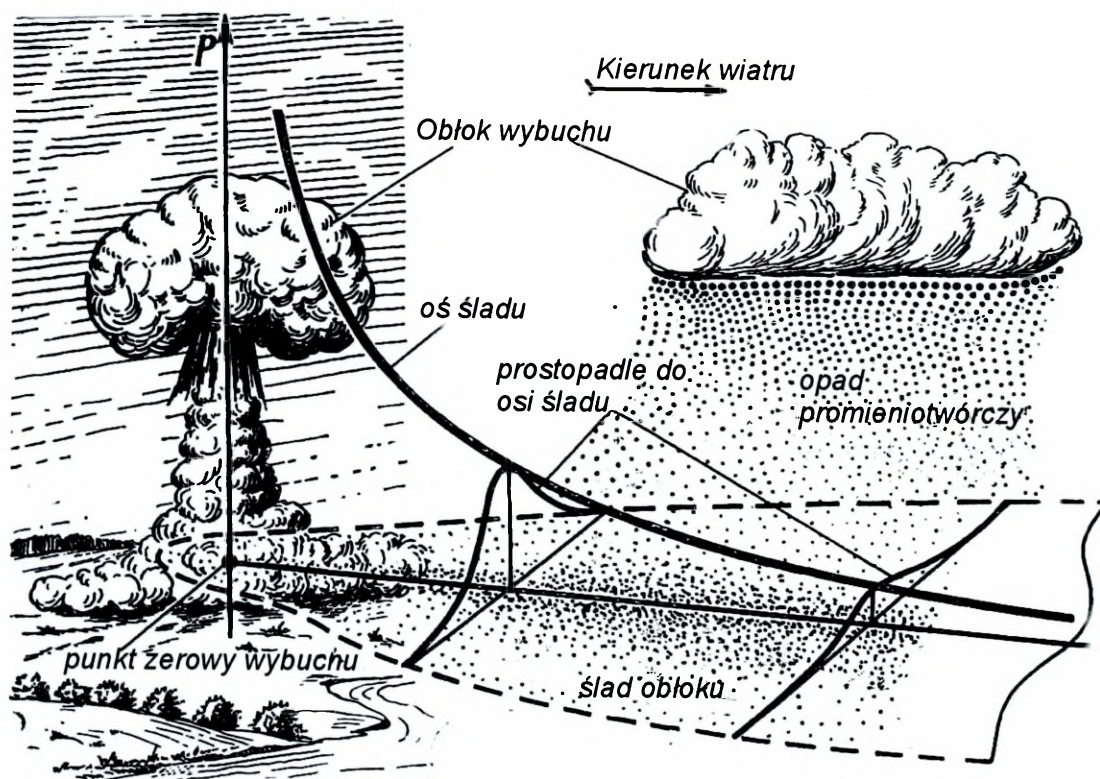
Podjęcie zaprezentowane przez M. Cieślak skłania do wniosku, z którego wynika, że aby mówić o prognozowaniu muszą być spełnione trzy warunki, a konkretnie przewidywanie musi dotyczyć przyszłości, musi opierać się na racjonalnych przesłankach oraz wykorzystywać metody naukowe. Przyjmując ten tok myślenia spróbujmy ustalić czy opracowywanie rzeczywistej sytuacji skażeń faktycznie można nazwać prognozowaniem.

Jak wcześniej ustalono prognozowanie skażeń promieniotwórczych może być rozpatrywane w trzech różnych aspektach, które uzależnione są jedynie od czasu przygotowania prognozy w stosunku do momentu powstania skażenia. Przygotowujemy więc przewidywaną sytuację skażeń, prognozowaną sytuację skażeń oraz rzeczywistą sytuację skażeń. Każda z nich ma swój cel, swoją specyfikę oraz ściśle określony poziom wiarygodności. Wynika z tego, że każdy rodzaj prognozowania dotyczy czegoś innego. W sytuacji przewidywanej, przede wszystkim, skupiamy się na ustaleniu czasu, miejsca i rodzaju ataku. Wielkość skażeń oraz strat jest już sprawą drugorzędną, dokładnie odwrotnie niż w sytuacji prognozowanej, w której właśnie te aspekty są zdecydowanie najważniejsze. Opracowanie prognozowanej sytuacji skażeń pozwala na lokalizację i określenie wielkości zagrożeń generowanych przez opad promieniotwórczy. Taka ilość informacji z powodzeniem zadowoli decydentów w zakresie sprawnego ostrzeżenia wojsk i ludności cywilnej o nadchodzącym zagrożeniu, a także planowania dalszych działań. Nie wystarczy jednak ani do dokładnego określenia miejsca opadu, ani do ustalenia wielkości

mocy dawki w konkretnym miejscu i czasie. Do takich celów konieczne jest odтворzenie rzeczywistej sytuacji skażeń.

Ten typ prognozy, od dwóch poprzednich, różni się w sposób zasadniczy, gdyż główny nacisk położony jest na efekt końcowy, czyli na ustalenie „rzeczywistego obrazu” skażeń. Do tego celu wykorzystujemy materiał uzyskany w rezultacie analizy wyników szczegółowego rozpoznania skażeń, w trakcie którego prowadzone były dokładne pomiary mocy dawki promieniowania w ściśle określonych miejscach. Dzięki temu ten typ prognozowania skażeń uważany jest za najbardziej wiarygodny.

Wznoszący się obłok promieniotwórczy unosi do atmosfery ogromną masę cząstek promieniotwórczych, które w zależności od mocy wybuchu oraz warunków atmosferycznych przemieszczają się na znaczne odległości. Z tego powodu zarówno czas, jak i obszar ich wypadania może być mocno zróżnicowany. Powstaje przy tym pas skażonego terenu, który w prognozowaniu nazywamy śladem obłoku promieniotwórczego. Uproszczony sposób formowania się śladu obłoku promieniotwórczego przedstawiono na rysunku 23.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Ядерное оружие*, Министерство Обороны СССР, Москва 1969, s. 90.

Rysunek 23. Formowanie stref skażeń po naziemnym wybuchu jądrowym

Skala zjawiska połączona ze stosunkowo długim czasem oddziaływania wskazuje, że analiza tylko bezpośrednich, natychmiastowych skutków uderzeń jądrowych może być niewystarczająca. Te bowiem mają, albo krótki zasięg rażącego oddziaływania (fala uderzeniowa, promieniowanie przenikliwe, promieniowanie cieplne), nieprzekraczający na ogół kilku–kilkudziesięciu kilometrów, albo niewielki zakres oddziaływania na ludzi i środowisko (impuls elektromagnetyczny).

W porównaniu z tysiącami kilometrów kwadratowych promieniotwórczego skażenia terenu, bezpośrednie skutki wybuchu nie wydają się już tak groźne. W efekcie, stałym i nieodłącznym elementem jądrowego pola walki będzie tzw. sytuacja promieniotwórcza, którą można zdefiniować jako rozkład promieniotwórczego skażenia terenu¹⁰. To zaś oznacza, że przy tak rozległych skażeniach, wszelkie działania bojowe oraz funkcjonowanie ludzi w rozległych strefach skażeń musi być starannie skalkulowane i zaplanowane w sposób, który nie dopuści do nadmiernej, niebezpiecznej ekspozycji na promieniowanie. Aby to było możliwe każdy decydent musi posiadać dokładne dane o rzeczywistym rozkładzie mocy dawki promieniowania w każdym ustalonym miejscu i czasie¹¹. A takie informacje zapewnia wyłącznie procedura odtwarzania rzeczywistej sytuacji skażeń, bazująca na uznanych metodach i procesach prognostycznych oraz danych uzyskanych ze szczegółowego rozpoznania skażeń.

5.2. Właściwości i uwarunkowania

5.2.1. Izolinie mocy dawki, czyli odtwarzanie sytuacji skażeń

Odtwarzanie rzeczywistej sytuacji skażeń to czynność realizowana wyłącznie w sytuacji, gdy z jakichś ważnych powodów jesteśmy zmuszeni do prowadzenia działań w obszarach skażonych. Jeżeli powody przebywania w terenie skażonym są błahe lub nieistotne wówczas z tego rezygnujemy czekając na bardziej sprzyjające okoliczności. Czasami jednak taka decyzja musi zostać podjęta i wtedy dane, uzyskane ze „zwykłego” prognozowania skażeń, okazują się zdecydowanie niewystarczające¹². W takiej sytuacji jedynym rozwiązaniem jest szczegółowe rozpoznanie skażeń, polegające na wykonaniu dokładnych pomiarów mocy dawki,

10 Z. Michalak, *Analityczny opis rzeczywistego rozkładu promieniotwórczego skażenia terenu*, WAT, Warszawa 1976, s. 6.

11 To nie tylko pomiary mocy dawki, lecz także przewidywanie jej zmian w czasie.

12 Zwykła, prognozowana sytuacja skażeń wskazuje jedynie prawdopodobne kontury stref skażeń, bez określania poziomu skażenia (mocy dawek).

w ustalonych punktach terenu skażonego. Wyniki pomiarów¹³ przelicza się na czas referencyjny¹⁴, a następnie nanosi na mapę sytuacyjną. Miejsca pomiarów wraz ze zmierzoną tam wartością mocy dawki będą podstawą do wykreślenia tzw. izolinii mocy dawki¹⁵, które następnie, po niewielkim uzupełnieniu, utworzą obraz rzeczywistej sytuacji skażeń, która wystąpiłaby godzinę po wybuchu (H+1).

W tym miejscu celowo użyto trybu przypuszczającego, gdyż jak wiemy opad promieniotwórczy trwa znacznie dłużej niż godzinę, toteż wyliczona moc dawki na H+1 jest tylko hipotetyczną sytuacją, która by powstała, gdyby cały opad promieniotwórczy zakończył się akurat w tym czasie. Wiemy, że taka sytuacja jest absolutnie niemożliwa, jednak ze względów praktycznych takie uproszczenie może być przydatne.

Zgodnie z tym, wszystkie punkty pomiarowe, które posiadają takie same, wcześniej ustalone wartości mocy dawki łączymy ze sobą tworząc kilka izolinii mocy dawki. Zazwyczaj tworzone są izolinie odpowiadające mocom dawki: 30, 100, 300, 1000 cGy/h, ale mogą być także wszystkie inne. W ten sposób wyodrębnimy dokładnie oznaczone obszary, w których występuje zróżnicowany poziom skażenia. Każdy z nich odzwierciedla prawdopodobny rozkład mocy dawki oraz kierunek jej narastania. Gdy zajdzie potrzeba, liczbę takich izolinii można dowolnie korygować. W trakcie wykreślenia poszczególnych izolinii trzeba jednak uważać, aby nie popełnić błędów spowodowanych tym, iż zmierzone moce dawek nie do końca odpowiadają wartości rysowanej izolinii. Dlatego, do osiągnięcia wiarygodności prognozy podczas interpolacji (lub ekstrapolacji) wartości mocy dawki należy zachować szczególnie dużą dokładność. Korzystamy przy tym ze wzoru:

$$P_0 = P_1 + \frac{P_2 - P_1}{x_2 - x_1} \times (x_0 - x_1)$$

gdzie:

P_0, P_1, P_2 – moc dawki promieniowania w punktach: 0, 1, 2;

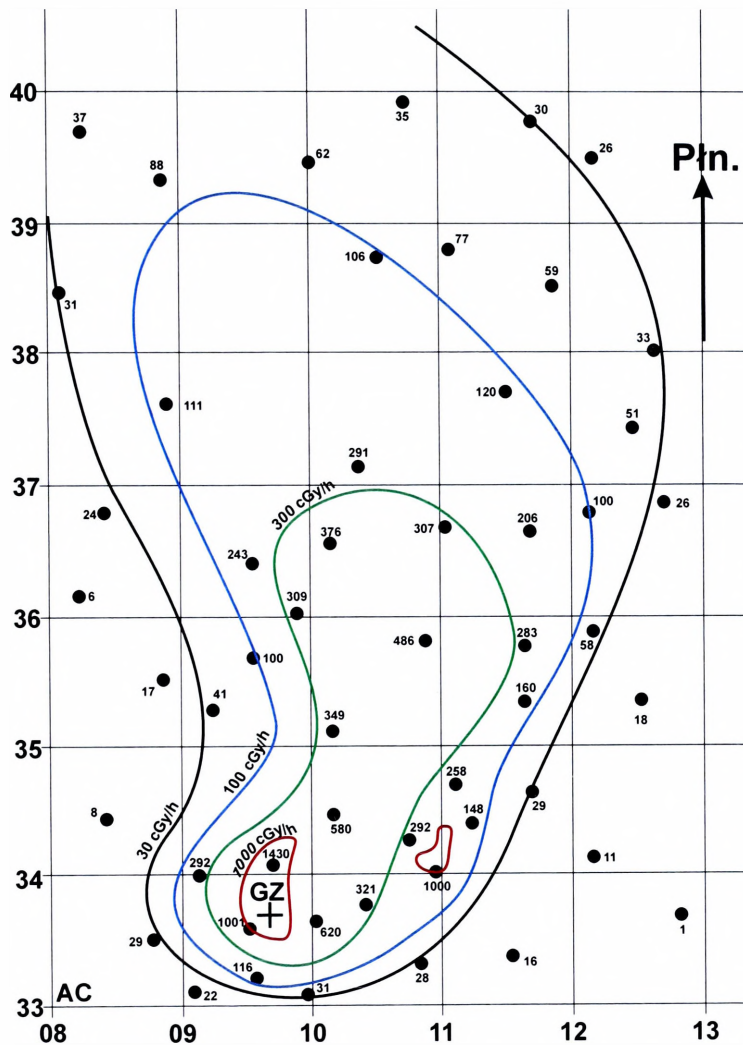
x_0, x_1, x_2 – odległość od punktów 0, 1, 2.

Powszechnie wiadomo, że metoda interpolacji, choć przydatna nie zapewnia wymaganej dokładności, gdyż zależy od zbyt wielu zmiennych, których właściwe przygotowanie nie zawsze jest możliwe. W przypadku interpolacji wartości mocy dawki wszelkie błędy mogą być pochodną bardzo różnych okoliczności i uwarunkowań, wśród których za najważniejsze można uznać:

13 Dane zazwyczaj będą pochodzić z meldunków NBC 4 NUC (są zmierzone w odkrytym terenie na wysokości 1 m nad powierzchnią ziemi).

14 Pomiaru wykonywane są w różnym miejscu i w różnym czasie, dlatego nie są porównywalne. Aby tego uniknąć wprowadzono tzw. czasy referencyjne H+1 lub H+48, na które przeliczane są wszystkie wyniki – zob. J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, wyd. cyt., s. 139.

15 Linii łączących miejsca o tej samej mocy dawki.



Źródło: J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, wyd. cyt., s. 157.

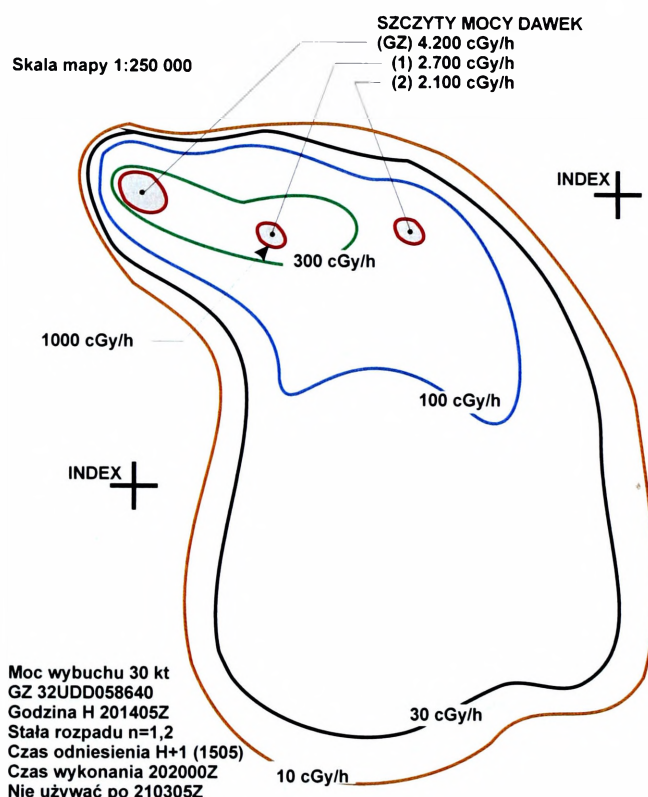
Rysunek 24. Przygotowanie izolinii mocy dawek

- odległość między punktami pomiarowymi (im większa odległość tym większa możliwość błędnych wyliczeń);
- duże różnice mocy dawki między punktami pomiarowymi;
- duże różnice czasowe wykonania poszczególnych pomiarów;
- nierównomierne rozmieszczenie punktów pomiarowych, wynikające z braku lub ograniczonych możliwości dokonania pomiaru w trudnym terenie lub ciężkich warunkach atmosferycznych (naziemne lub powietrzne rozpoznanie skażeń);
 - duże amplituda wysokości wykonanych pomiarów (zapadliska, rowy, góry, przewyższenia);
 - stosunkowo duży obszar terenu, w którym należy dokonać pomiarów mocy dawki;
 - zróżnicowany poziom wyszkolenia osób wykonujących pomiary;

- słaba dokładność pomiarów mocy dawki (przyrządy do rozpoznania skażeń mają duży margines błędów i są podatne na warunki atmosferyczne)¹⁶.

Graficzną ilustrację przygotowania poszczególnych izolinii przedstawiono na rysunku 24.

W niektórych przypadkach może się zdarzyć, iż dane z rozpoznania „nie pasują” do całego obrazu skażeń. Zwykle jest to spowodowane nierównomiernym rozkładem pyłu promieniotwórczego, który w pewnych obszarach może być znacznie bardziej intensywny. W rezultacie pojawiają się tzw. „gorące miejsca”, w których moce dawki są nieproporcjonalnie wyższe od pozostałych, także tych zmierzonych w bezpośrednim otoczeniu. Takie anomalie mogą też oznaczać błąd w pomiarach, dlatego wszystkie informacje muszą być ponownie sprawdzone i zweryfikowane. Jeśli się potwierdzą muszą być naniesione na mapę i jednoznacznie wyróżnione. Przykład gotowej prognozy rzeczywistej sytuacji skażeń przedstawiono na rysunku 25.



Źródło: J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, wyd. cyt., s. 158.

Rysunek 25. Rzeczywista sytuacja skażeń

16 Zob. *Wyznaczanie danych początkowych do prognozowania skażeń promieniotwórczych po wybuchu jądrowym, część I. Dane początkowe dla graficznej metody stref-elips*, WAT, Warszawa 1975, s. 20–21.

Na rysunku znajdują się informacje wskazujące na rozkład mocy dawki w terenie skażonym, przy założeniu, iż poszczególne izolinie odzwierciedlają poziom skażenia, który mógłby wystąpić w godzinę po wybuchu (H+1). W tym momencie dochodzimy do ciekawej konstatacji, iż odtwarzając rzeczywistą sytuację skażeń tak naprawdę prognozujemy... przeszłość, czyli odpowiadamy na pytanie jak mogłoby być godzinę po wybuchu. Powstaje więc pytanie czy taka prognoza może być prawdziwa? Okazuje się, że nie, gdyż już od samego początku wiemy, że na pewno tak nie było i nasze prognozy już z zasady są nieprawdziwe¹⁷. Do czego więc mają służyć?

Można by powiedzieć, że do niczego, bowiem taka prognoza jaką przedstawiono na rysunku do niczego się nie nadaje. Będzie tak wtedy, gdy osoby zajmujące się prognozowaniem zakończą procedurę odtwarzania rzeczywistej sytuacji skażeń właśnie na tym etapie. W rezultacie jedynym efektem takiego prognozowania będzie z góry błędna prognoza takiego poziomu skażeń, który w godzinę po wybuchu na pewno nie miał miejsca. Mówiąc inaczej rzeczywista sytuacja skażeń okazuje się... kompletnie nierzeczywista.

Podejmowanie decyzji związanych z przebywaniem lub przekraczaniem terenu skażonego odbywać się będzie zazwyczaj znacznie później niż w godzinę po wybuchu¹⁸, dlatego hipotetyczna sytuacja skażeń odnosząca się do momentu występującego wiele godzin wcześniej nie nadaje się do bezpośredniego zastosowania. Co więcej, izolinie mocy dawki określające kontury obłoku, nieustannie się przesuwały, początkowo w wyniku wypadania pyłów z obłoku, a potem w efekcie zmniejszania się mocy dawki, będącego skutkiem rozpadu promieniotwórczego. Skoro więc hipotetycznej sytuacji skażeń nie można wykorzystać to, po co ją wykonywać? W praktyce okazuje się, że to nie do końca prawda, gdyż użyteczność takich prognoz wcale nie jest mała, a po modyfikacji może być całkiem znaczna. Trzeba tylko dokonać stosownych przekształceń, dostosowanych do celu, sposobu i zakresu dalszego działania w terenie skażonym.

17 Gdyż, jak wcześniej ustalono, nie ma fizycznej możliwości, aby opad promieniotwórczy zakończył się po jednej godzinie.

18 Do przygotowania rzeczywistej sytuacji skażeń potrzebny jest czas na zakończenie wypadania pyłu promieniotwórczego, a następnie czas przeznaczony na wykonanie szczegółowego rozpoznania skażeń. Takie uwarunkowania wykluczają możliwość wykonania prognozy już w godzinę po wybuchu.

5.2.2. Przetwarzanie danych o skażeniu

Wszelkie działania podejmowane w celu odtworzenia rzeczywistej sytuacji skażeń pozwalają dowódcom zweryfikować i uściślić dotychczasowe dane o skażeniach, dając jednocześnie podstawę do podjęcia decyzji o kontynuacji lub zaniechaniu dalszych działań w skażonych strefach. Dodatkowo, napływające informacje stanowią cenne źródło danych, które potwierdzają lub negują celowość oraz zakres prac, zmierzających do mitygacji zagrożenia oraz likwidacji jego ewentualnych skutków.

Jak ustalono, do opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń niezbędne są dane uzyskane z bezpośrednich pomiarów prowadzonych w obszarach skażonych. Takie pomiary będą jednak możliwe (będą miały sens) dopiero po zakończeniu opadu promieniotwórczego. Dopiero wtedy, w skażonym terenie zakumulowana zostanie całkowita moc dawki promieniowania będąca efektem aktywności wszystkich znajdujących się tam radionuklidów. Z tego też powodu wszelkie pomiary mocy dawki wykonane przed lub w trakcie opadu nie miałyby sensu, głównie ze względu na ich niedokładność oraz brak wiarygodności.

Powstaje więc pytanie – kiedy można przeprowadzić pomiary mocy dawki promieniowania w danym miejscu tak, aby uwzględniony został całkowity, rzeczywisty poziom skażenia? Do odpowiedzi na to pytanie niezbędne jest poznanie czasu zakończenia wypadania cząstek radioaktywnych we wszystkich punktach, w których będziemy wykonywać pomiary. Podczas testów jądrowych ustalono, że główna część skażeń następuje w drugiej fazie opadu promieniotwórczego (tzw. opad średniego zasięgu), która trwa od 0,5 do 20 godzin po wybuchu. Natomiast szybkość opadania pyłu promieniotwórczego zależy od średnicy jego cząstek i może być bardzo zróżnicowana. Przedstawiono ją w tabeli 27.

Tabela 27

Czas opadania cząstek pyłu z wysokości 12 km

Średnica cząstek (mm)	Czas opadania
0,84	22 min
0,25	42 min
0,15	2 godz.
0,075	7,9 godz.
0,033	1,7 doby
0,016	7 dób
0,008	28 dób

Źródło: A. Iwanow, G. Rybkin, *Działanie rażące wybuchu jądrowego*, wyd. cyt., s. 250

Dane przedstawione w tabeli 27 wskazują, że czas wypadania cząstek radioaktywnych może być stosunkowo długi, co w zasadzie uniemożliwia szybkie wykonanie pomiarów i przygotowanie prognozy. Okazuje się jednak, że wypadanie małych cząstek nie powoduje istotnej zmiany poziomu skażenia terenu, dlatego do kalkulacji czasu wypadania korzystamy z następującego wzoru:

$$T_{zak} = 1,25 \times T_{doj} + \frac{\text{średnica obłoku}}{\text{prędkość wiatru skutecznego}}$$

gdzie:

- T_{zak} – czas zakończenia wypadania cząstek promieniotwórczych z obłoku;
- T_{doj} – czas dojścia czoła obłoku do danego punktu w godzinach po wybuchu (odległość GZ do miejsca pomiaru dzielona przez prędkość wiatru skutecznego).

Z przedstawionych ustaleń wynika, że czas zakończenia wypadania cząstek promieniotwórczych, w zależności od warunków atmosferycznych, wielkości cząstek oraz miejsca pomiaru może być bardzo różny. To także oznacza, że wykonywanie poszczególnych pomiarów nigdy nie będzie równoczesne, co spowoduje, że wyniki rozpoznania uzyskane w różnym miejscu i czasie będą trudne do praktycznego wykorzystania. Trudno bowiem podejmować jakiegokolwiek decyzje, gdy dane o stopniu skażenia zebrane w różnych miejscach nie są ze sobą kompatybilne. Aby uniknąć tych problemów ustalono procedurę, według której wszystkie dane należy przetworzyć na jeden umowny czas, nazwany czasem referencyjnym, którym zazwyczaj jest jedna godzina po wybuchu (oznaczane jako H+1).

Przeliczanie danych na czas referencyjny można wykonać albo za pomocą współczynnika normalizacyjnego NF (*normalizing factor*)¹⁹ albo w sposób matematyczny. W pierwszej metodzie współczynnik normalizacyjny odzwierciedla stosunek mocy dawki na ziemi w czasie referencyjnym (P_1) do mocy dawki na ziemi w innym znanym czasie, po zakończeniu wypadania cząstek pyłu promieniotwórczego (P_2), natomiast w drugim przypadku korzystamy z równania Kaufmana, które odzwierciedla proporcjonalny spadek mocy dawki promieniowania w miarę upływu czasu.

$$P_1 \times t_1^n = P_2 \times t_2^n$$

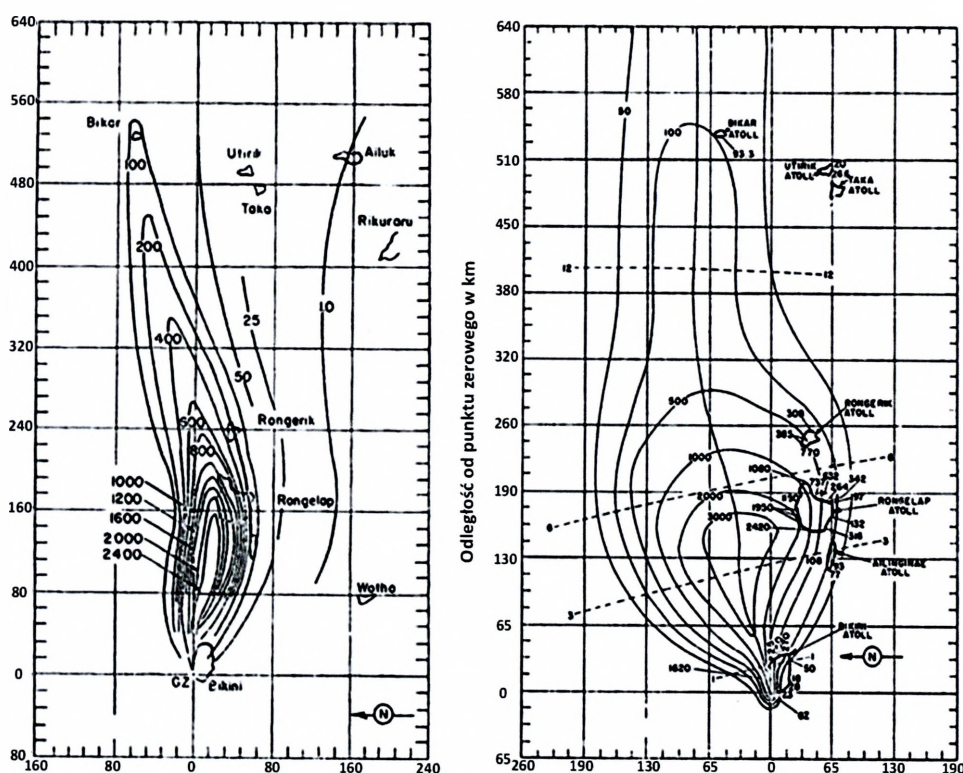
gdzie:

- P_1, P_2 – moc dawki promieniowania w miejscu pomiaru;
- t_1, t_2 – czas po wybuchu wyrażony w godzinach;
- n – stała rozpadu.

19 Zob. J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, AON, wyd. cyt., s. 139–143.

W obu przedstawionych metodach trzeba uwzględnić współczynnik „n”, zwany stałą rozpadu²⁰, który określa szybkość rozpadu radionuklidów będących składnikiem pyłu promieniotwórczego.

Panuje powszechna opinia, iż wykonanie pomiarów w terenie skażonym pozwala poznać stopień skażenia w wybranym miejscu i czasie. Podobnie uważa się, że na tej podstawie, wykorzystując wcześniej przedstawione zależności, można określić kontury rzeczywistych stref skażeń w konkretnym, dowolnie ustalonym czasie. Takie przekonanie wynika z doświadczalnie potwierdzonych zależności (równanie Kaufmana) oraz z zaufania do wiarygodności przyrządów rozpoznania skażeń. Czy to jednak wystarczy? Okazuje się, że nie zawsze. Wystarczy porównać dwie prognozy skutków wybuchu BRAVO z roku 1954, które wykonano w oparciu o dane uzyskane z konkretnych punktów pomiarowych. Przedstawiono je na rysunku 26.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Compilation of local fallout data from test detonations 1945–1962*, Volume II, DNA 1251-2-EX, General Electric Company – TEMPO, Santa Barbara 1979, s. 65–66.

Rysunek 26. Kontury stref skażeń 15 Mt wybuchu BRAVO

20 Każdy izotop promieniotwórczy charakteryzuje się ściśle określoną stałą rozpadu (λ), która określa jego aktywność lub prawdopodobieństwo rozpadu jądra w jednostce czasu. Jest obliczana ze wzoru $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$. W przypadku pyłu promieniotwórczego, który jest mieszaniną ponad 200 radionuklidów wylicza się średnią wartość stałej rozpadu (n) zależną od czasu po wybuchu. Gdy nie znamy wielkości stałej rozpadu przyjmujemy wartość średnią, obliczoną dla czasu 0,5 h–4 doby ($n = 1,2$).

Z informacji przedstawionych na rysunku 26 wynika, że prognozy bazujące nawet na tych samych danych nie zawsze są tożsame. W tym przypadku różnice wynikają z przyjęcia odmiennych metod prognozowania skażeń. Prognoza po lewej stronie została bowiem wykonana za pomocą metody AFSWP (*Armed Forces Special Weapons Project*), natomiast po prawej metodą NRDL (*Naval Radiological Defense Laboratory*). Porównanie obu prognoz wskazuje, że wyniki są w znacznym stopniu odmienne, zwłaszcza jeśli chodzi o kształt i zasięgi stref skażeń²¹. Tym samym pytanie – jak wykorzystać wyniki rzeczywistej sytuacji skażeń – staje się pytaniem o zasadniczym znaczeniu, które w swej istocie decyduje o ostatecznej użyteczności tej formy prognozowania.

5.3. Użyteczność rzeczywistej sytuacji skażeń

5.3.1. Możliwe zastosowania

Podstawowym celem opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń, podobnie jak w przypadku innych form prognozowania, jest ochrona zdrowia i życia wojsk podczas wykonywania zadań w terenie skażonym²². Jednak w odróżnieniu od dwóch pozostałych form „sytuacji skażeń” w tym przypadku będziemy dysponować największym potencjałem dostępnych informacji, które wyrażane są w formie różnorodnych parametrów konturów opadu oraz wyraźnie określonych zmiennych, charakteryzujących podstawowe wskaźniki ryzyka promieniotwórczego. W efekcie można przyjąć, że rzeczywista sytuacja skażeń określana jest zazwyczaj przez następujące zmienne i parametry:

- izolinie mocy dawki;
- izolinie dawki pochłoniętej po całkowitym rozpadzie wszystkich radioizotopów opadu;
- długość, szerokość i powierzchnie stref skażeń;
- punkt zerowy wybuchu jako punkt odniesienia;
- obszary szczególnie silnych skażeń;
- wartość mocy dawki w ustalonych punktach terenu²³.

21 W tej samej publikacji przedstawiono także trzeci wariant prognozy skażeń, przygotowany przez RAND Corporation, który różni się jeszcze bardziej – zob. *Compilation of local fallout...*, wyd. cyt., s. 67.

22 Poprzez ograniczenie wielkości napromienienia.

23 Zob. S. Denus, wyd. cyt., s. 22.

Wielość zmiennych i ich parametrów z jednej strony znacznie utrudnia przygotowanie prognozy, zwłaszcza w kontekście jej wiarygodności, z drugiej jednak daje doskonałą okazję do wariantowania różnorodnych podejść, procedur i zastosowań w konfrontacji z bardzo zmiennymi, a często niejednoznacznymi potrzebami współczesnego pola walki. Jak to jednak wykorzystać?

Poszukując odpowiedzi na tak postawione pytanie należy przypomnieć warunki, w jakich opracowujemy rzeczywistą sytuację skażeń, a konkretnie potrzeby, które takie działanie wymuszają. Wiemy, iż działania tego typu podejmujemy tylko wtedy, gdy z jakichś bardzo ważnych powodów (zwykle taktyczno-operacyjnych) istnieje potrzeba kontynuacji działania w terenie skażonym. Na ogół chodzi o przebywanie w nim lub jego przekraczanie. Takie decyzje wymuszają wykorzystanie wszelkich możliwych środków i procedur, które choć w minimalnym stopniu pozwolą na ograniczenie ryzyka utraty zdrowia i życia ludzi. Zastanówmy się więc jakie informacje są nam potrzebne?

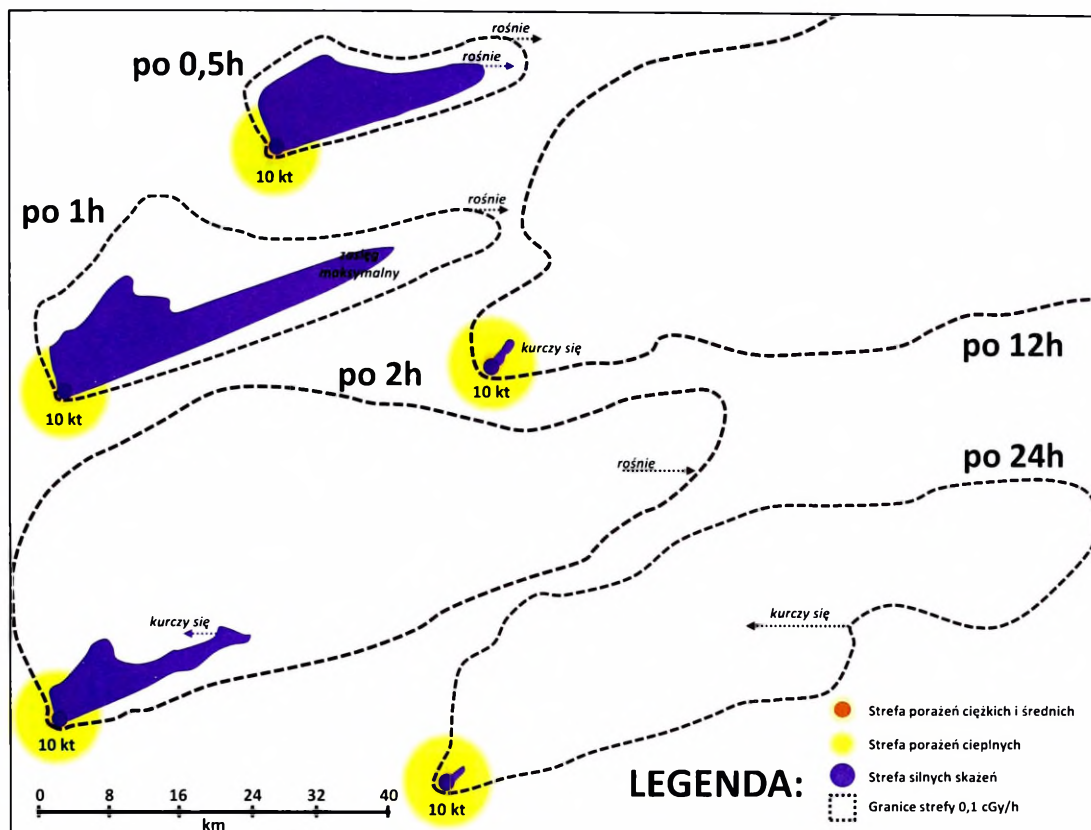
Przede wszystkim trzeba poznać dokładne granice terenu skażonego, co pozwoli na zidentyfikowanie obszaru zagrożenia oraz, co ważniejsze, na ustalenie możliwego czasu przebywania²⁴. W tym miejscu należy jednak ustalić, co to znaczy „poznać dokładne granice terenu skażonego”. Jest to o tyle istotne, że wspomniane granice, w miarę upływu czasu, nieustannie się zmieniają.

Pierwotnie, poszczególne strefy skażeń nieustannie rosną i po stosunkowo krótkim czasie (zazwyczaj liczonym w godzinach) osiągają imponujące rozmiary, skażając teren na znacznych odległościach od punktu zerowego wybuchu. Jak wcześniej ustalono w tym etapie najistotniejszą rolę odgrywa zjawisko wypadania cząstek z przemieszczającego się obłoku promieniotwórczego.

Po jakimś czasie (zwykle po kilku dobach), gdy opad promieniotwórczy się zakończy, główną rolę przejmuje zjawisko rozpadu promieniotwórczego, które powoduje, że poziom skażenia zaczyna się szybko zmniejszać. Wiadomo też, że wszystkie strefy skażeń są bezpośrednio warunkowane przez wartość dawki lub mocy dawki w określonych miejscach terenu skażonego. W ten sposób spadek poziomu skażenia (mocy dawki) w danym miejscu powoduje natychmiastowe „cofanie” się stref skażeń, zmniejszając wymiary obszaru skażonego oraz wielkość mocy dawki w pozostałych strefach skażeń. Graficzną interpretację dynamiki stref skażeń, formowanych po naziemnym wybuchu o mocy 10 kt przedstawiono na rysunku 27.

Z informacji przedstawionych na rysunku 27 wynika, że dynamika stref skażeń jest bardzo duża, co powoduje, że dokładne ustalenie ich konturów w konkretnym czasie i przestrzeni jest absolutnie niemożliwe. Zamiast tego można określać przypuszczalne granice skażenia oraz warunki, które w danym czasie prawdopodobnie będą występowały. Czy to jednak wystarczy?

24 Na przykład czasu, który jest potrzebny na przekroczenie terenu skażonego, obliczanego w stosunku do dopuszczalnej dawki promieniowania.



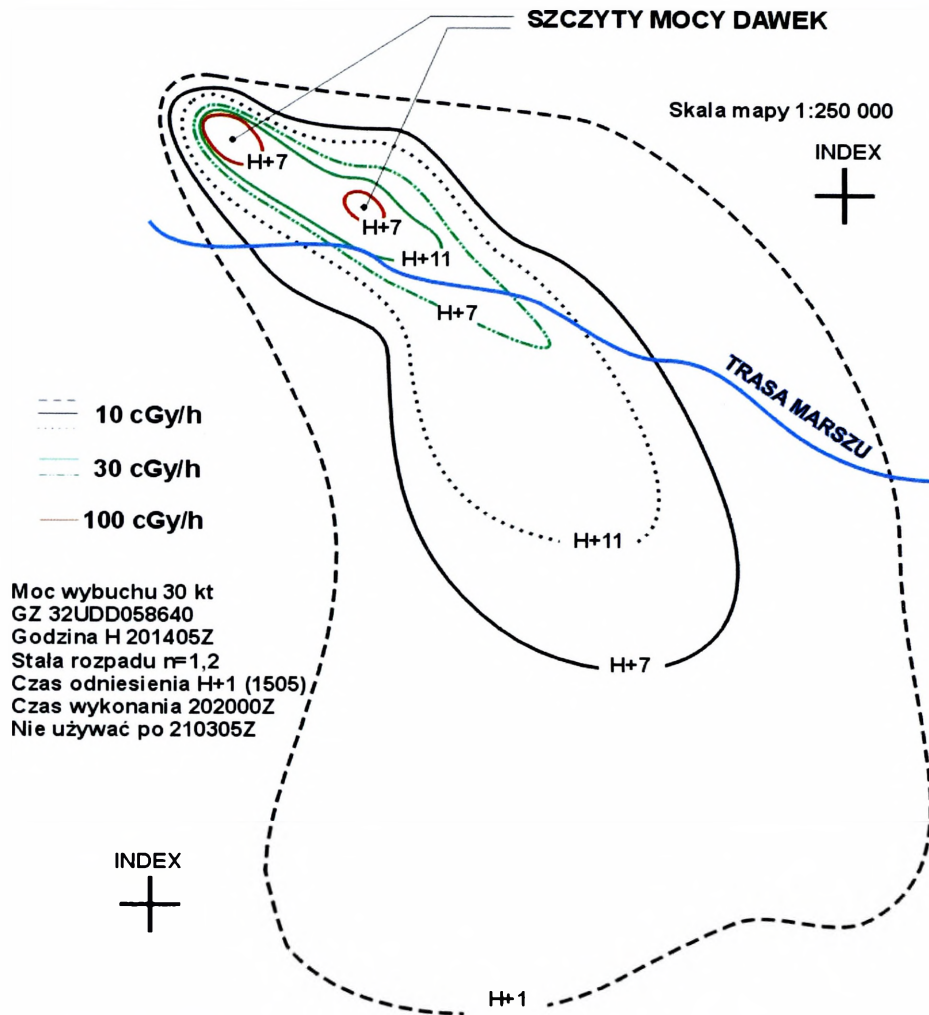
Źródło: opracowanie własne na podstawie: B.R. Buddemeier, J.E. Valentine, K.K. Millage, L.D. Brandt, *Key Response Planning Factors for the Aftermath of Nuclear Terrorism*, Lawrence Livermore National Laboratory, Applied Research Associates, Sandia National Laboratories, Livermore 2011, s. 20.

Rysunek 27. Dynamika stref skażeń

Okazuje się, że wszystko zależy od tego, co i kiedy planujemy. Jeżeli czas nas ogranicza i nie można przełożyć określonego działania (w terenie skażonym) wówczas dalsza prognoza pozwoli nam tylko na określenie prawdopodobnych dawek promieniowania, które pochłoną ludzie wyznaczeni do działania w terenie skażonym. Jeżeli zaś można poczekać to dzięki prognozie możemy zaplanować optymalny czas wejścia w teren skażony oraz bezpieczny czas przebywania. Do wstępnej oceny, odnoszącej się do możliwości przyszłych działań w terenie skażonym, wystarczą prognozy, które zdefiniują zasięg oraz poziom skażeń w całym obszarze zainteresowania w różnym, wybranym przez nas czasie po wybuchu.

Do tego celu wykorzystujemy rzeczywistą sytuację skażeń (przygotowaną na czas H+1) oraz zależność Kauffmana, za pomocą której możemy obliczyć moc dawki promieniowania na dowolny czas po wybuchu. W ten sposób otrzymamy użyteczne narzędzie, za pomocą którego możemy zwizualizować tempo kurczenia się poszczególnych stref skażeń. Takie narzędzie będzie przydatne głównie

w procesie planowania przyszłych działań w terenie skażonym. Przykład prognozy, która przedstawia izoliny mocy dawki promieniowania w różnym czasie po wybuchu przedstawiono na rysunku 28.

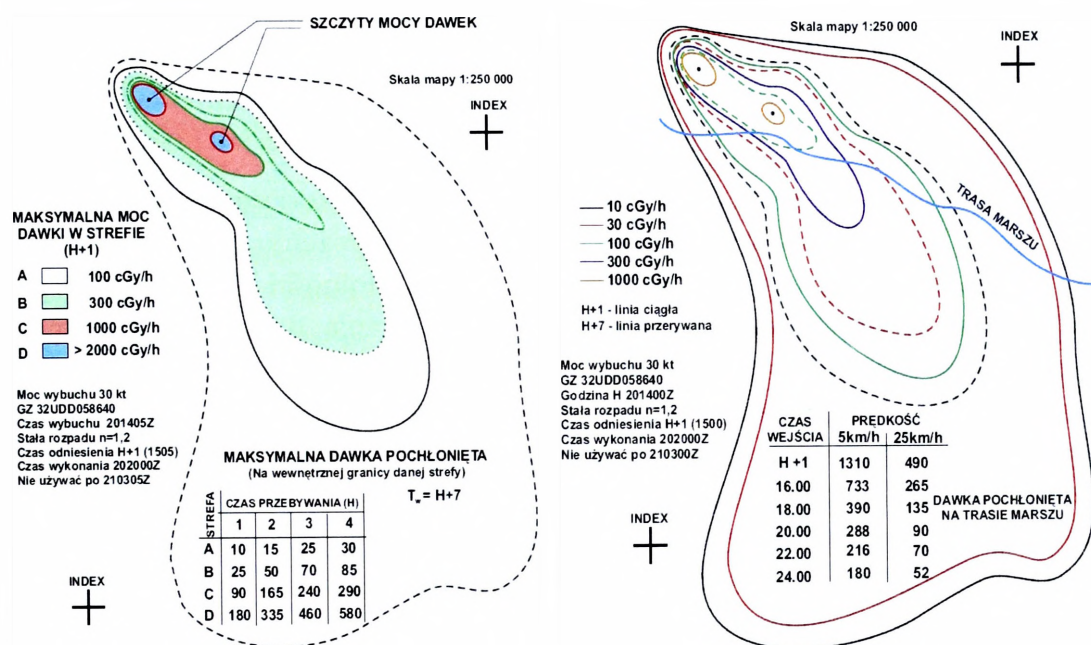


Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Nuclear Contamination Avoidance*, Department of the Army, Washington 1994, s. 5–23.

Rysunek 28. Rzeczywista sytuacja skażeń w różnym czasie po wybuchu

Przedstawiona na rysunku 28 sytuacja jest bardzo przydatna do zrozumienia istoty i charakteru skażeń, jednak do szczegółowych rozważań, a zwłaszcza do podejmowania decyzji potrzebne jest coś więcej. Chcemy bowiem wiedzieć jak zaplanować działania w terenie skażonym, aby dopuszczalna wielkość dawki promieniowania nie została przekroczona, a napromieniony personel nie utracił zdolności bojowej. Rozpatrując działanie w terenie skażonym myślimy głównie o przebywaniu w nim lub jego przekraczaniu, dlatego rzeczywistą sytuację skażeń, taką jak pokazano na rysunku 28 możemy wykorzystać przynajmniej do tych

dwóch celów. Po odpowiedniej modyfikacji oraz uzupełnieniu danych możemy otrzymać przydatne informacje w zakresie prawdopodobnych dawek promieniowania, pochłanianych w czasie przebywania w terenie skażonym lub podczas jego przekraczania. Przykładowe prognozy rzeczywistych skutków działania w terenie skażonym przedstawiono na rysunku 29.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Nuclear Contamination...*, wyd. cyt., s. 5-23-5-26.

Rysunek 29. Prognozowane dawki promieniowania pochłonięte podczas działania w terenie skażonym

Przedstawione sposoby wizualizacji rozwoju stref skażeń wraz ze stosownymi kalkulacjami, wskazują na znaczną użyteczność tej formy prognozowania skażeń. Rzeczywista sytuacja skażeń jest bowiem przygotowywana na podstawie realnych pomiarów mocy dawki w terenie skażonym, co daje podstawę do w miarę rzetelnych prognoz w zakresie aktualnego i przyszłego poziomu skażenia w rozpatrywanym obszarze działań. Na tej podstawie decydenci odpowiedniego szczebla mogą planować działania wojsk i ludności w terenie skażonym, przy założeniu, że wszelka ich aktywność nie doprowadzi do pochłonięcia dużych dawek promieniowania, zwłaszcza takich, które mogą być przyczyną śmierci lub poważnych zachorowań. Trzeba jednak wyraźnie zaznaczyć, że oprócz graficznej wizualizacji poszczególnych stref skażeń, do podjęcia właściwych decyzji konieczne jest wykonanie szeregu kalkulacji pozwalających na wyliczenie wszystkich, niezbędnych

parametrów skażenia oraz ocenę jego przewidywanych skutków²⁵. W ramach tej oceny można będzie określić:

- dawki promieniowania pochłonięte podczas przebywania w terenie skażonym;
- dawki promieniowania pochłonięte podczas przekraczania stref skażonych;
- optymalny czas przebywania w terenie skażonym;
- optymalny czas i miejsce wejścia w teren skażony;
- optymalny czas wyjścia z terenu skażonego (z ukryć);
- poziom skażenia w konkretnych wybranych punktach terenu skażonego;
- przewidywane straty w ludziach zarówno bezpowrotne, jak i sanitarne.

Przedstawione wyżej obliczenia i kalkulacje będą wykorzystywane do planowania wszelkich działań w terenie skażonym, przy założeniu, że decyzje, które zostaną podjęte nie spowodują istotnego obniżenia zdolności bojowej lub niepożądanego narażenia ludzi na duże dawki promieniowania. Będzie to jednak możliwe tylko w przypadku zapewnienia dużej wiarygodności pozyskanych danych oraz skrupulatnego przestrzegania wszystkich procedur prognozowania. Temat wiarygodności metod prognozowania był już wcześniej poruszany, jednak jak się wydaje, problem, który stanowi egzystencjalny dylemat typu „*być albo nie być*”, może wymagać nieco szerszego spojrzenia.

5.3.2. Wiarygodność rzeczywistych metod prognozowania

Opracowanie każdej prognozy pociąga za sobą pewien kompromis pomiędzy potrzebami a stopniem jej poprawności i sprawdzalności. Podobnie jest w przypadku prognozowania skażeń. Nie zawsze to, co chcemy osiągnąć jest możliwe, a to, co możliwe nie zawsze jest przydatne. Z pośród wszystkich trzech rodzajów prognozowania skażeń najbardziej wiarygodny wydaje się aspekt odtwarzania rzeczywistej sytuacji skażeń. Uwzględnia on rzeczywiste dane pochodzące ze szczegółowego rozpoznania skażeń, dane które po przetworzeniu stanowią podstawę końcowej prognozy. Taka prognoza, w porównaniu do prognoz dotyczących przewidywanej lub prognozowanej sytuacji skażeń, zawiera najwięcej informacji, będących następstwem pewnych faktów, których efekty – w postaci skażeń – zostały pomierzone, ocenione i zweryfikowane. Tym samym, rzeczywista sytuacja skażeń opracowywana w kontekście konkretnych potrzeb i wymogów pola walki, jest bardzo specyficznym rodzajem prognozowania. Zapewnia bowiem dość duży realizm faktycznego poziomu skażenia, ale przy okazji dodaje szereg uproszczeń, które tę rzeczywistość mocno zaburzają. Mimo to, ten swoisty dysonans nie za-

25 Szczegółowe wyliczenia wraz z konkretnymi przykładami znajdziemy w: J. Solarz, *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych...*, wyd. cyt., s. 167–216.

kłóca ani pozytywnego odbioru rzeczywistej sytuacji skażeń, ani jej przydatności. Wiadomo bowiem, że każda prognoza jest procesem stochastycznym i jako taka zawsze zawiera określony pierwiastek błędu. Nie można więc wymagać, że wyniki prognozowania będą oddawały w pełni realne warunki faktycznej sytuacji skażeń powstałej po wybuchach jądrowych. Muszą być jednak na tyle wiarygodne, aby decyzje podejmowane na ich podstawie mogły zniwelować lub ograniczyć większość skutków spowodowanych przez negatywne oddziaływanie promieniowania na ludzi i środowisko. Powstaje przy tym pytanie czy taka wiarygodność jest w ogóle możliwa, a jeśli tak, to co na nią wpływa?

Zastanawiając się nad tym pytaniem wypada rozpatrzyć wszystkie czynniki, które o tym decydują. Wśród nich można wyodrębnić przynajmniej trzy grupy takich czynników. Są to: czynniki ludzkie, czynniki techniczne oraz środowisko.

Jak to zwykle bywa najbardziej zawodny jest czynnik ludzki, który zależy od indywidualnych predyspozycji ludzi, od ich wykształcenia oraz aktualnego stanu zdrowia. W ostatnim przypadku duże znaczenie może odgrywać dotychczasowy stopień napromienienia poszczególnych osób, zwłaszcza tych, które biorą udział w rozpoznaniu i prognozowaniu skażeń. Rozpatrując czynnik ludzki ważne są także inne uwarunkowania, takie jak: priorytety rozpoznania, sposób rozmieszczenia (wyboru) punktów pomiarowych oraz metody pomiaru i przetwarzania danych. Jest to o tyle istotne, że nawet podczas wybuchów doświadczalnych liczba punktów pomiarowych nigdy nie była zbyt duża, co oznacza, że w warunkach bojowych dostęp do wiarygodnych danych o wielkości skażenia (wartości mocy dawki) może być znacznie trudniejszy. Dodatkowym problemem jest sposób przetwarzania wyników rozpoznania na izolinie mocy dawki. Powszechnie przyjęte formy aproksymacji (interpolacja lub ekstrapolacja) nie dają bowiem rozwiązań pewnych, oferując w zamian tylko ich namiastkę, w postaci bardzo szacunkowych wyników. Rozbieżności są szczególnie duże w przypadku, gdy ekstrema mocy dawki występują między punktami pomiarowymi lub w ich sąsiedztwie. Jeżeli wartość maksymalna mocy dawki nie występuje w punkcie pomiarowym wówczas jej wyznaczenie (wyliczenie) nie będzie możliwe, co w prosty sposób może doprowadzić do poważnych błędów przy podejmowaniu decyzji.

Czynniki techniczne to przede wszystkim dostępność środków rozpoznania, ich dokładność pomiarowa oraz ograniczenia konstrukcyjne. Do tego można dodać uwarunkowania wpływające na szybkość i jakość przekazu informacji o skażeniach a także procedury techniczne i oprogramowanie do prognozowania. W tym przypadku jednak istnieje ścisła współzależność funkcjonująca w obrębie aspektów technicznych i ludzkich.

Równie istotna wydaje się znajomość szczegółów konstrukcyjnych użytej broni, która jak wcześniej wykazano może mieć bardzo różne zastosowania. Najlepszym tego przykładem będą ładunki neutronowe, które zamiast dużej mocy

wybuchu (silna fala uderzeniowa i promieniowanie cieplne) wykorzystują śmiertelnie niebezpieczną dla organizmów żywych siłę promieniowania neutronowego. W takich przypadkach ocena sytuacji, bazująca wyłącznie na prognozowanych strefach skażeń, nie na wiele się przyda, gdyż prawdziwe źródło zagrożenia znajduje się w zupełnie innym miejscu.

Pewne problemy mogą się pojawić także w sytuacji, gdy zastosowane zostaną duże ładunki termojądrowe, w których wydajność rozszczepienia²⁶ nie jest znana. Aktualnie, wszystkie tego typu dane są niejawne i wszystko wskazuje, że takie już pozostaną²⁷. Wydajność rozszczepienia jest kwestią niezwykle istotną, gdyż decyduje o zasięgu stref skażeń oraz intensywności opadu promieniotwórczego. Wiemy bowiem, że ta część energii wybuchu ładunku jądrowego, która pochodzi z reakcji syntezy nie będzie powodować opadu promieniotwórczego, gdyż nie generuje produktów rozszczepienia, które jak wiemy są głównym źródłem skażenia. Taka korelacja oznacza, że jeśli wydajność rozszczepienia będzie wynosić 0,5, to opad promieniotwórczy będzie o 50% mniejszy od opadu występującego po eksplozji ładunku typowo rozszczepialnego, o tej samej mocy.

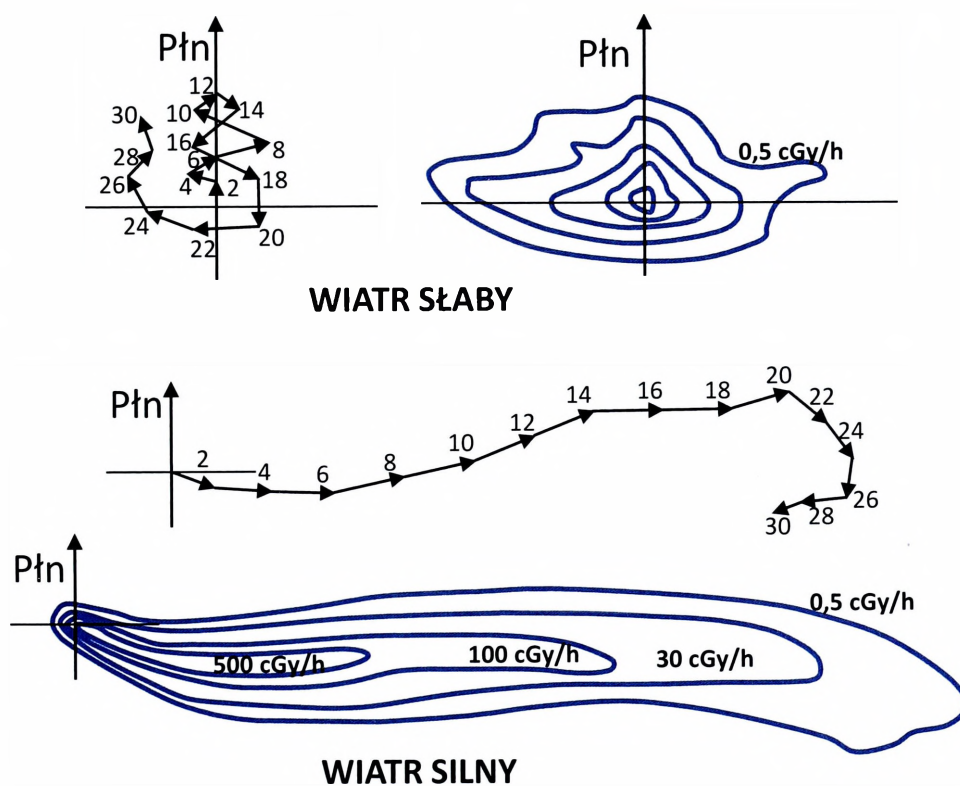
Ostatnią, ale za to najbardziej rozbudowaną grupą czynników, determinujących wiarygodność prognozowania jest środowisko. Ze względu na szczególną różnorodność czynników, środowisko traktowane jest jako zbiór otwarty, w którym poszczególne jego aspekty czasami nie występują równocześnie, a czasami wzajemnie się przenikają. Do najbardziej oczywistych elementów środowiska, które warunkują wiarygodność i poprawność prognozy należą teren i warunki atmosferyczne. Ze względu na ich dużą różnorodność właściwe dobranie poszczególnych składowych odgrywa niebagatelną rolę w procesie prognozowania i często decyduje o jej przydatności.

Warunki atmosferyczne obejmują przynajmniej kilka ważnych elementów, jednak niezaprzeczalnie najważniejszym jest wiatr, a konkretnie jego prędkość i kierunek. To głównie od niego zależy zasięg i rozpiętość formujących się stref skażeń oraz trwałość i charakter występującego w nich skażenia. Przykładowo, jeśli kierunek wiatru jest zmienny, a prędkość niewielka to powstawanie wyraźnych stref skażeń jest bardzo utrudnione. W efekcie ich kształt jest nieregularny, zazwyczaj zbliżony do koła lub elipsy, chociaż całkiem możliwe jest też występowanie odosobnionych miejsc o podwyższonym poziomie skażenia. Taka sytuacja poważnie utrudnia opracowywanie rzeczywistej sytuacji skażeń, gdyż tak duża zmienność parametrów, połączona ze stosunkowo niewielką liczbą punktów po-

26 Jest to stosunek *fission yield/total yield (FY/TY)*, który wskazuje, jaka część całkowitej mocy wybuchu pochodzi z rozszczepienia. Wyrażany jest w procentach.

27 Wydaje się wątpliwe, aby przeciwnik informował stronę przeciwną o parametrach konstrukcyjnych swojej broni.

miarowych w pobliżu epicentrum wybuchu nie pozwala na dokładną wizualizację poziomu skażenia. Dodatkowo bardzo łatwo można przeoczyć niektóre maksyma mocy dawki, co stanowi poważne zagrożenie dla planowania i ewentualnego przebywania ludności w takim terenie. Dla odmiany wiatr o dużej prędkości i stałym kierunku prowadzi do wytworzenia rozciągniętych stref skażeń o wyraźnym kształcie i w miarę jednolitym charakterze. Można w nich wyodrębnić linię, zwaną osią śladu, wzdłuż której moc dawki osiąga swoje maksymalne wartości. Linia ta jest zwykle linią krzywą o niesymetrycznym rozkładzie mocy dawki po jej obu stronach. Jednolitość stref skażeń wyraża się też w relacji, w której można zauważyć regularny spadek mocy dawki, zachodzący wraz ze wzrostem odległości od epicentrum wybuchu. Wszelkie zmiany kierunku wiatru lub jego prędkości będą miały istotny wpływ na kształt i charakter stref skażeń, dlatego w większości przypadków kontury skażenia będą mało regularne²⁸. Wpływ wiatru na formowanie stref skażeń przedstawiono na rysunku 30.



Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. Denus, wyd. cyt., s. 24.

Rysunek 30. Wpływ wiatru na zasięg i kształt konturów skażenia

28 Podobna sytuacja wystąpi, gdy dojdzie do nakładania się stref skażeń pochodzących z kilku wybuchów jądrowych.

Kolejnym czynnikiem atmosferycznym, który może wpływać na wiarygodność prognozowania skażeń są opady. Ustalono, że zarówno deszcz, jak i śnieg mogą wymywać cząstki promieniotwórcze do gleby, skracając czas i zasięg wypadania oraz zwiększając poziom skażenia. Okazuje się jednak, że takie korelacje są prawdziwe tylko wtedy, gdy mamy do czynienia z wybuchami małej mocy, w trakcie których obłok promieniotwórczy prawie w całości znajduje się w obszarze występowania chmur deszczowych (około 6 km). W przypadku wybuchów dużej mocy obłok promieniotwórczy wznosi się znacznie powyżej tego poziomu, a to skutecznie ogranicza możliwy wpływ opadu atmosferycznego na formowanie się stref skażeń. W zasadzie przyjmuje się, że jedynym skutkiem ulewnych deszczy mogą być gorące plamy, czyli niewielkie miejsca silnego skażenia rozrzucone w całym obszarze.

Rozpatrując problem opadów, w kontekście wiarygodności rzeczywistej sytuacji skażeń warto zwrócić uwagę także na jeszcze jeden aspekt rozważań, łączący czynniki techniczne i środowiskowe. Mowa jest o powietrznym rozpoznaniu skażeń, które jest zasadniczym źródłem danych, niezbędnych do opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń. Jak wiadomo, wykonanie pomiaru na ziemi zapewnia najwyższą wiarygodność odczytu mocy dawki promieniowania jednak, jeżeli pomiar naziemny obarczony jest ryzykiem pochłonięcia zbyt wysokiej dawki promieniowania pomiar należy wykonać w powietrzu, bezpośrednio nad punktem pomiarowym, przy użyciu odpowiednich przyrządów. W efekcie wykonywanie wszelkich pomiarów mocy dawki na wysokości przelotowej śmigłowca skutkuje tym, że zmierzona wartość mocy dawki jest inna niż ta, która występuje bezpośrednio nad powierzchnią ziemi. Z tego powodu do wyznaczenia ostatecznej mocy dawki trzeba zastosować współczynnik korelacyjny powietrze – ziemia²⁹. Podobne problemy powstaną, gdy między powierzchnią ziemi, a śmigłowcem pojawią się opady deszczu lub śniegu. Wyliczono jednak³⁰, że zmiana gęstości powietrza spowodowana silnymi opadami deszczu nie przekracza 1%, dlatego wpływ deszczu na dokładność pomiarów podczas lotniczego rozpoznania skażeń jest pomijalnie mała. Nieco gorzej jest jednak, gdy na powierzchni ziemi pojawi się gruba warstwa śniegu, która w dość skuteczny sposób obniża wartość mocy dawki zarówno na wysokości lotu śmigłowca, jak i bezpośrednio nad powierzchnią ziemi (1 m). To oznacza, że jej wpływ na krotność osłabienia promieniowania, liczoną między wysokością lotu śmigłowca oraz 1 m nad powierzchnią ziemi, bę-

29 Współczynnik korelacyjny powietrze – ziemia (*air-ground correlation factor* – AGCF) to parametr określający stosunek mocy dawki na ziemi do mocy dawki w powietrzu. Aby go ustalić trzeba wykonać próbne pomiary na powierzchni ziemi oraz bezpośrednio nad nią, w miarę bezpiecznym miejscu.

30 A. Wykpiśz, *Analiza, rozwinięcie i doświadczalne sprawdzenie funkcji opisującej moc dawki w atmosferze od rozległych skażeń promieniotwórczych terenu*, WAT, Warszawa 1963, s. 73.

dzie niewielki. Większa różnica będzie natomiast występować bezpośrednio na poziomie zalegania pokrywy śnieżnej, która zakłóca odczyt poziomu promieniowania nawet o kilkadziesiąt procent³¹.

Drugą grupą czynników związanych ze środowiskiem są czynniki operacyjne traktowane jako czas, obszar oraz siły i środki, które się tam znalazły. Zazwyczaj to właśnie te czynniki są główną inklinacją warunkującą potrzeby w zakresie opracowania rzeczywistej prognozy skażeń. W innych przypadkach, zwłaszcza gdy teren nas nie interesuje, a ponadto nikogo w nim nie ma, żadna prognoza nie będzie potrzebna. Wymienione uwarunkowania ściśle zależą od konkretnej sytuacji, dlatego trudno je rozważać w oderwaniu od rzeczywistości. Mimo to można uznać, że warunki terenowe stanowią zwykle bardzo określoną współzależność, powodując konkretne zakłócenia i korelacje w procesie opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń. Nie tracąc czasu na głębsze rozważania w tym zakresie, można uznać szacunki S. Glasstone'a, który przyjął, że gęsta zabudowa, silne pofałdowanie terenu oraz lasy mogą osłabiać promieniowanie nawet ponad 70%³².

W aspekcie środowiska istotne znaczenie może mieć również tzw. środowisko pomiarowe, czyli konkretna sytuacja skażeń, która się wytworzyła po wykonaniu uderzeń jądrowych. Do zasadniczych problemów rzutujących na charakter końcowej prognozy zaliczamy: aktywność wzbudzoną i jej wpływ na wiarygodność pomiarów, nakładanie się stref skażeń powstałych w wyniku różnych wybuchów jądrowych oraz skażenia pochodzące od wybuchów niezauważonych lub z innych źródeł. Wszystkie wymienione elementy będą stanowiły prawdziwe wyzwanie dla osób zaangażowanych w opracowanie rzeczywistej sytuacji skażeń, a w efekcie ostateczne kontury skażenia będą się znacznie różniły od liniowej prognozy wykorzystującej stały spadek mocy dawki wraz z odległością.

Ostatnim z kryteriów oceny wiarygodności i użyteczności rzeczywistej sytuacji skażeń jest czas jej przygotowania. Na wstępie zaznaczono, że przygotowanie prognozy bazuje na danych uzyskanych ze szczegółowego (lotniczego lub naziemnego) rozpoznania skażeń. Pomiar mocy dawki w terenie jest zaś możliwy dopiero po całkowitym opadnięciu pyłu promieniotwórczego, który jak ustalono może trwać przez wiele godzin. Dopiero po tym czasie można rozpocząć proces przetwarzania danych, zmierzających do uzyskania „rzeczywistego” obrazu sytuacji skażeń, w konkretnym miejscu i czasie. Tym samym dochodzimy do wniosku, że opracowanie rzeczywistej sytuacji skażeń jest procesem czasochłonnym, który może być przydatny wyłącznie do planowania przyszłych działań w terenie skażonym oraz do ewentualnych kalkulacji w zakresie oceny sytuacji skażeń w późniejszym okresie czasu.

31 Dla wysokości lotu 100 m i 30 cm pokrywy śnieżnej błąd wynosi około 67%. Tamże, s. 74.

32 S. Glasstone, Ph.J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*, wyd. cyt., 1977, s. 435.

Reasumując problem wiarygodności rzeczywistej sytuacji skażeń warto podkreślić, że taka forma prognozowania skażeń stanowi bezcenne narzędzie w rękach wszystkich decydentów (dowódców) zmierzających lub zmuszonych do podjęcia działań w terenie skażonym. Dzięki temu możliwość podjęcia błędnych decyzji, skutkujących utratą życia lub zdrowia będzie znacznie ograniczona, i to niezależnie od wszelkich ludzkich, technicznych czy środowiskowych przeciwności.

ZAKOŃCZENIE

Bezpieczeństwo współczesnego świata można definiować na wiele sposobów, uwzględniając przy tym różnorodne realia – polityczne, ekonomiczne, społeczne, militarne, energetyczne, a nawet ekologiczne i zdrowotne. W takim kontekście rzeczywisty obraz naszej cywilizacji jawi się jako konglomerat różnych zależności, interesów i konfliktów, które wzajemnie funkcjonując nieustannie się ścierają i przenikają. Carl von Clausewitz twierdził, że wojna jest kontynuacją polityki, dlatego nie dziwi fakt, że w wielu miejscach naszego globu wciąż trwają mniejsze lub większe konflikty zbrojne, w których każda ze stron stara się coś osiągnąć. Wrogie strony walczą ze sobą podejmując wysiłki zmierzające do pokonania przeciwnika, zadania mu jak największych strat, zniszczenia jego potencjału militarno-gospodarczego lub odebrania woli walki. Powszechnie wiadomo, iż aby tego dokonać potrzebny jest odpowiedni potencjał, który może być wyrażany w bardzo różny sposób, jednak najlepszym z nich jest określona ilość nowoczesnej broni, zapewniającej wykonanie niszczycielskich ataków. I właśnie te słowa – nowoczesna i niszczycielska – najlepiej oddają istotę broni masowego rażenia, która już z definicji przeznaczona jest do maksymalnej destrukcji ludzkiego, technicznego i gospodarczego potencjału przeciwnika.

Decyzja o użyciu broni masowego rażenia to z pewnością jeden z najbardziej dramatycznych, najtrudniejszych i najbardziej brzemiennych w skutki wyborów. Świadczy o tym fakt stosunkowo rzadkiego jej użycia, pomimo swych niezaprzeczalnych walorów i wynikającej z tego użyteczności. Okazuje się jednak, że ta użyteczność jest tylko pozorna, gdyż jak wiadomo produkcja, przechowywanie oraz użycie broni chemicznej¹ i biologicznej² są prawnie zabronione. Z kolei broń radiologiczna to tylko atrapa, gdyż jak dotąd żadne państwo takiej broni nie posiada, a gdyby nawet ją posiadało to jej militarne zastosowanie jest bardzo wątpliwe³. Z całego spektrum BMR pozostaje więc tylko broń jądrowa, której użycie nie jest

1 Konwencja o zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów, sporządzona w Paryżu dnia 13 stycznia 1993 r., (Dz.U. 1999 Nr 63, poz. 703).

2 Konwencja o zakazie prowadzenia badań, produkcji i gromadzenia zapasów broni bakteriologicznej (biologicznej) i toksycznej oraz o ich zniszczeniu, Londyn, Moskwa, Waszyngton, 10 kwietnia 1972 r., (Dz.U. 1976 Nr 1, poz. 1).

3 Badania nad bojowym zastosowaniem broni radiologicznej prowadziło wiele państw (wśród nich ZSRR, Irak, Iran) lecz ostateczne wyniki były co najmniej niezadowolające.

zabronione, chociaż wiadomo, że dysponuje największą siłą rażenia. Ten swoisty dysonans może wywoływać zdziwienie, jednak fakt, że broń jądrowa została użyta w sposób bojowy tylko dwa razy w całej swojej historii wszystko nam tłumaczy. Kilkadziesiąt lat doświadczeń pozwoliło, nie tylko na dobre poznanie rażącego potencjału broni jądrowej, ale także jej niebagatelnej, można rzec dominującej roli, jaką odgrywa w polityce międzynarodowej. Mimo tej wiedzy, jednoznaczna odpowiedź na pytanie czy broń jądrowa zostanie kiedykolwiek użyta nie jest wcale łatwa. Powodem takiej, a nie innej postawy jest bowiem wyraźny rozdźwięk między chęcią posiadania najsilniejszego oręża w historii, a obawami wynikającymi z totalnie destrukcyjnych i w dużej mierze nieprzewidywalnych skutków jego użycia. Uważna obserwacja poczynań państw jądrowych prowadzi jednak do wniosku, iż niezależnie od traktatów, konwencji i porozumień rozbrojeniowych oraz antyproliferyacyjnych, broń jądrowa na stałe już weszła do współczesnego „*status quo*” i nic nie wskazuje, aby miało się to zmienić.

Rażące działanie broni jądrowej przejawia się w postaci pięciu czynników rażenia, z których cztery pojawiają się prawie natychmiast, a tylko jeden – promieniotwórcze skażenie terenu – znacznie później. Ta pozorna niekonsekwencja spowodowana jest koniecznością ukształtowania się obłoku promieniotwórczego, który następnie staje się zasadniczym źródłem późniejszych skażeń. Sam proces kształtowania obłoku trwa zwykle kilkanaście minut, jednak czas, po którym następuje opadanie cząstek promieniotwórczych na ziemię liczony jest już w godzinach.

Użycie broni jądrowej na polu walki może być bardzo różnorodne. Dysponujemy bowiem ładunkami małej i wielkiej mocy, rozszczepialnymi i termojądrowymi, a także neutronowymi. Sam sposób wykonania ataków też może być różny, chociaż już znacznie mniej skomplikowany. Wyróżniamy więc wybuchy naziemne (nawodne), podziemne (podwodne) oraz powietrzne, przy założeniu, że każdy sposób ataku ma swój cel i przeznaczenie. Wśród nich zdecydowanie najbardziej spektakularne zastosowanie mają ataki naziemne, bo tylko w ich przypadku powstaną rozległe obszary skażeń, utrudniające lub uniemożliwiające funkcjonowanie wojsk i ludności cywilnej. Stąd, skażenia promieniotwórcze, pokrywające ogromne obszary ewentualnych działań, wydają się całkiem prawdopodobnym elementem współczesnego pola walki, pod warunkiem, że potencjalny agresor zdecyduje się na użycie takiej broni.

Aby ograniczyć ich skutki należy poznać zasięg i charakter powstałych skażeń, a następnie określić bezpieczne warunki realizacji zadań. Od wielu lat uznany i bardzo przydatnym narzędziem wspomagania procesów decyzyjnych jest predykcja skażeń, która wyrażana jest poprzez funkcje – informacyjną, preparacyjną i ostrzegawczą. Podejmowanie decyzji w warunkach skażeń jest nie tylko zadaniem trudnym, ale i odpowiedzialnym, gdyż każda niewłaściwa decyzja ła-

two może doprowadzić do śmierci lub bardzo poważnych skutków zdrowotnych, nie mówiąc już o niewykonaniu zadania.

Na wstępie opracowania wysunięto kilka hipotez, w których poszukiwano odpowiedzi na pytania, odnoszące się do istoty, natury oraz charakteru wykorzystania różnorodnych metod prognozowania skażeń jądrowych. W dalszej części pracy podjęto próbę głębszej eksploracji przyjętych założeń, poprzez ich wyjaśnienie oraz naukową interpretację rozpatrywanych zjawisk i zależności. Na tej podstawie wykazano, że metody, formy i procedury predykcji skażeń jądrowych można traktować zarówno w sposób indywidualny, jak i systemowy. W Polsce wszystkie procedury prognozowania skażeń jądrowych realizowane są w ramach Systemu Wykrywania Skażeń, który przeznaczony jest do zbierania, przetwarzania i wytwarzania informacji o uderzeniach BMR i samych skażeniach. Przy czym każda informacja w systemie ma postać jednolitych i ściśle sformalizowanych meldunków CBRN, które mogą być przesyłane w sposób tradycyjny, jak i zautomatyzowany. Od początku istnienia broni jądrowej stosowano różnorodne metody prognozowania skażeń, które przez lata ewoluowały, ciągle się zmieniając i doskonaląc. W efekcie powstało szereg wydawałoby się dobrych rozwiązań, które do dziś znajdują zastosowanie. Zasadnicze kalkulacje, związane z określaniem konturów skażenia oraz określaniem mocy dawki dowodzą, że mimo różnych sposobów obliczeń, efekty końcowe bywają bardzo podobne, choć nie tożsame. Z drugiej strony ich analiza wykazała, że idealne metody prognozowania skażeń jądrowych nie istnieją, a te które występują, mają cały szereg mankamentów. Żaden z modeli nie uwzględnia bowiem zmiennych wiatrów w przyziemnych warstwach atmosfery, co ma poważny wpływ na końcowy rozkład cząstek opadu. Te zakłócenia są na tyle ważne, że powodują powstawanie tzw. „gorących plam” i nadspodziewanie czystych obszarów, które w modelach prognostycznych nie zostały przewidziane, chociaż w rzeczywistości są typowe. Różnice występują także przy określaniu zasięgu i kształtu stref skażeń, chociaż największy na to wpływ mają zmienne warunki meteorologiczne, głównie kierunek i prędkość wiatru, a czasem też opady.

Podobnie wątpliwe wydaje się podejście dzielące wysiłek prognozowania skażeń na trzy formy, występujące pod nazwą: przewidywanej, prognozowanej i rzeczywistej sytuacji skażeń. Co prawda, cel i przedmiot prognozowania każdej z nich są wyraźnie określone, jednak sposób ich realizacji nie zawsze jest jednoznaczny i wiarygodny.

Skażenia powstałe w wyniku użycia broni jądrowej zależą głównie od rodzaju ataku, typu użytego ładunku oraz bardzo wielu innych okoliczności, takich jak choćby warunki terenowe czy pogoda. Tak duża różnorodność zmiennych, wpływających na końcowy obraz skażeń powoduje, że sposób prowadzenia postępowania ocenowego też musi być różny. We wszystkich sytuacjach nieodzownym elementem takiej oceny będzie prognozowanie skażeń, a najtrudniejszym jego

przypadkiem przewidywanie skażeń, czyli próba oceny przyszłego, hipotetycznego stanu skażeń prowadzona przed uderzeniami BMR, w sytuacji gdy nie posiadamy prawie żadnych informacji na temat miejsca, czasu i rodzaju ataków. Podczas przewidywania musimy najpierw dokonać oceny zagrożenia bronią jądrową, aby potem, stosując metody matematyczne, dokonać formalnej prognozy skażeń, dokładnie tak samo, jak w przypadku opracowania prognozowanej sytuacji skażeń wykonywanej już po uderzeniach BMR. W tym kontekście tożsamość przewidywania i prognozowania występuje tylko w drugiej części procesu opracowywania sytuacji skażeń, natomiast tam, gdzie realizujemy proces pozyskania danych do prognozy wszystkie procedury są odmienne. Taki podział powoduje, że zasadnicza odmienność przewidywania od prognozowania skażeń staje się bardziej czytelną. W efekcie „przewidywanie” skażeń, zwłaszcza na poziomie taktycznym, ma więcej wspólnego ze zwykłym zgadywaniem niż z prawdziwym prognozowaniem, zwłaszcza gdy pamiętamy, że prognozowanie to racjonalne i naukowe przewidywanie przyszłości. Tak niska wiarygodność przewidywania skażeń już w swej istocie podważa ogólny sens tej formy prognozowania, a jej praktyczne zastosowanie, bez wiarygodnych danych wejściowych, wydaje się mało prawdopodobne.

Dla kontrastu, odtwarzanie rzeczywistej sytuacji skażeń jądrowych to najwyższa, najpełniejsza i jednocześnie najdokładniejsza forma prognozowania skażeń. Wykorzystanie danych, które pochodzą ze szczegółowego rozpoznania skażeń stwarza możliwość wykonania właściwej prognozy. Prognozy, która w końcowym efekcie będzie odpowiednią podstawą do podejmowania decyzji dotyczących działania w terenie skażonym. Z takiego zestawienia wynika, że cel opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń, polegający na przygotowaniu danych niezbędnych do podjęcia decyzji, jest taki sam jak w przypadku innych form prognozowania. Jednak pomimo wspólnego celu wszystkie pozostałe elementy są inne. Zasadnicza różnica tkwi w szczegółowości zebranych danych. W tym przypadku nie ma już miejsca na prowadzenie dywagacji, snucie przypuszczeń czy zwykłe zgadywanie, zamiast tego oceniane są konkretne fakty dotyczące miejsca, natury i poziomu skażeń. W rezultacie decydent otrzymuje prawie pełny obraz hipotetycznych skażeń istniejących w określonym czasie po wybuchu.

Wyniki dociekań wykazały, że istnieją też pewne zagrożenia związane z „nierzeczywistymi” aspektami opracowania takiej prognozy. Chodzi tu głównie o hipotetyczny obraz skażeń występujących w czasie H+1, który jak udowodniono nigdy nie jest prawdziwy, a jego bezpośrednie wykorzystanie przy podejmowaniu decyzji będzie mało przydatne. Z tego też powodu trzeba unikać sytuacji, w której proces prognozowania rzeczywistej sytuacji skażeń zakończy się na tym etapie, a zamiast tego wykorzystać go do przygotowania dalszych, głębszych i bardziej wiarygodnych analiz, które po pewnym przetworzeniu będą znakomitym narzędziem usprawniającym proces podejmowania decyzji. Wśród nich odnajdziemy

dwa główne zastosowania odnoszące się do przebywania w terenie skażonym oraz jego przekraczania. W rezultacie każdy decydent dysponujący taką prognozą będzie w stanie podejmować właściwe decyzje, które nie dopuszczą do przekroczenia dopuszczalnych dawek napromienienia podległych mu wojsk lub ludności cywilnej.

Duży stopień szczegółowości nie zawsze gwarantuje skuteczność i przydatność wykonanych prognoz. W pewnych warunkach będą występowały różnorodne zakłócenia, które zależą od takich elementów jak: czynnik ludzki, czynniki techniczne oraz środowisko. Każdy z nich powoduje pewne ograniczenia, które w pewnych sytuacjach mogą poważnie zakłócić sprawne przygotowanie prognozy. Najbardziej nieprzewidywalne jest środowisko, dlatego też ten aspekt prognozy powinien być rozpatrywany w sposób niezwykle sumienny i drobiazgowy. Zupełnie inaczej postrzegane są ograniczenia techniczne, które zazwyczaj doskonale znamy, co jednak nie oznacza, że w tej materii nie ma już nic do zrobienia. Z kolei najbardziej kłopotliwa sytuacja występuje w obrębie czynnika ludzkiego, który ze względu na swoją nadrzędność ma największy wpływ na rezultat końcowy. W efekcie przygotowanie wiarygodnej prognozy odzwierciedlającej rzeczywistą sytuację skażeń w konkretnym okresie po wybuchu jest zadaniem bardzo trudnym, choć niezwykle ważnym. Z tego powodu należy dążyć do ciągłego doskonalenia wszystkich wymienionych obszarów, ze szczególnym naciskiem na kwalifikacje personelu zajmującego się rozpoznaniem i prognozowaniem skażeń.

Przedstawione metody oraz formy prognozowania skażeń jądrowych mają swoje zalety i mankamenty, jednak prawie każda z nich może być stosowana we wszystkich procesach o charakterze decyzyjnym, choć z różnym stopniem jej wiarygodności i ostatecznej przydatności. Skala i charakter skażeń jądrowych powoduje, że wszelkie możliwe wsparcie ze strony osób zajmujących się prognozowaniem skażeń będzie bardzo użyteczne, a w wielu wypadkach wręcz niezbędne.

Celem autora była weryfikacja i usystematyzowanie wiedzy o pojęciu, zasadach i metodach prognozowania skażeń stosowanych w procesie podejmowania decyzji, w warunkach użycia lub groźby użycia broni jądrowej. Oddawana w ręce czytelnika książka jest prawdopodobnie jedyną dostępną na rynku wydawniczym publikacją, która w tak szczegółowy, a jednocześnie dość przystępny sposób prezentuje rozważania dotyczące, zwykle słabo znanych aspektów predykcji skażeń jądrowych. Dlatego autor ma nadzieję, że książka wypełni tę lukę, przyczyniając się do lepszego ich zrozumienia oraz dalszej naukowej interpretacji.

SPIS LITERATURY

Artykuły, raporty i opracowania zwarte

1. Albright D., *Future Directions In the DPRK's Nuclear Weapons Program: Three Scenarios For 2020*, US–Korea Institute at SAIS, Washington 2015.
2. Allen P.W., Cluff F.D., Van der Hoven I., *The Early Transport of Nuclear Debris [w:] Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, Rep. TID-7632, Germantown 1961.
3. Amborski K., *Podstawy metod optymalizacji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
4. Anderson A.D., *A Theory For Close-In Fallout*, United States Naval Radiological Defense Laboratory, USNRDL TR249, Las Vegas 1958.
5. Anderson A.D., *A Wind-Measuring System For The Tactical Prediction Of Fallout*, United States Naval Radiological Defense Laboratory, USNRDL TR369, Las Vegas 1959.
6. Anderson A.D., *Application Of „Theory For Close-In Fallout” To Low-Yield Land Surface And Underground Nuclear Detonations*, United States Naval Radiological Defense Laboratory, USNRDL TR289, Las Vegas 1959.
7. Anderson A.D., *The NRDL Dynamic Model For Fallout From Land-Surface Nuclear Bursts*, United States Naval Radiological Defense Laboratory, USNRDL TR410, Las Vegas 1960.
8. *Antiterrorism*, JP 3-07.2, United States Joint Forces Command, Suffolk 2010.
9. Antoszkiewicz J., *Metody heurystyczne*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1982.
10. Archipow M.P., *Promieniowanie świetlne wybuchu atomowego*, MON, Warszawa 1957.
11. Arnoldi J., *Ryzyko*, Wydawnictwo Sic!, Warszawa 2011.
12. *Attack Environment Manual, What the planer needs to know about Fallout*, Federal Emergency Management Agency, Washington 1987.
13. Bałtrukiewicz Z., *Wybrane zagadnienia sanitarno-medyczne ochrony radiologicznej*, CLOR, Warszawa 1978.
14. Barteczko K., Bocian A.F., *Prognozowanie i symulacje gospodarcze*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok 2008.

15. Bieniok H., Gruszczyńska-Malec G., Królik G., *Elementarz twórczego myślenia*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego w Katowicach, Katowice 1988.
16. Binek T., Czepiel J., *Funkcjonowanie Krajowego Systemu Wykrywania Skazań i Alarmowania w obecnych uwarunkowaniach systemowych w Polsce*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” t. 36, wyd. 4.
17. Bolesta-Kukułka K., *Decyzje menedżerskie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.
18. Brode H.L., *Przegląd skutków wybuchów jądrowych*, „Postępy Techniki Jądrowej” nr 59(481), Warszawa 1971.
19. Brown S.L., Lee H. Wong P.W., *SEER II: A New Damage Assessment Fallout Model*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1972.
20. Buddemeier B.R., Valentine J.E., Millage K.K., Brandt L.D., *Key Response Planning Factors for the Aftermath of Nuclear Terrorism*, Lawrence Livermore National Laboratory, Applied Research Associates, Sandia National Laboratories, Livermore 2011.
21. Bunn M., Wier A., *Securing the Bomb 2005, The New Global Imperatives*, Nuclear Threat Initiative, Washington 2005.
22. *Capabilities of Nuclear Weapons*, DNA EM-1, Defense Nuclear Agency, Washington 1972.
23. *CBRN Defence on Operations*, ATP-3.8.1, Volume I, STANAG 2521, Brussels 2010.
24. Charpak G., Darwin R.L., *Błędne ogniki i grzyby atomowe*, WNT, Warszawa 1999.
25. *Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Consequence Management*, JP 3-41, US Northern Command, Washington 2012.
26. Cieślak M. (red.), *Prognozowanie gospodarcze metody i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
27. Comar C.L., *Fallout from Nuclear Tests*, U.S. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, 1966.
28. *Combating Weapons of Mass Destruction*, JP 3-40, Washington 2009.
29. *Commander's guide on nuclear radiation exposure of groups during war*, edition 7, STANAG 2083, NSA, Brussels 2009.
30. *Compilation of Local Fallout Data from Test Detonations 1945–1962 extracted from DASA 1251, Volume I – Continental U.S. Tests*, DNA 1251-1-EX, General Electric Company – TEMPO, Santa Barbara 1979.
31. *Compilation of Local Fallout Data from Test Detonations 1945–1962 extracted from DASA 1251, Volume II – Oceanic U.S. Tests*, DNA 1251-2-EX, General Electric Company – TEMPO, Santa Barbara 1979.

32. Cook C.S., *Basic Characteristics of Nuclear Radiation form Fallout* [w:] Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster, proc. of Symp., Interlaken 1968.
33. Czerwiński A.A., *Energia jądrowa i promieniotwórczość*, Oficyna Edukacyjna Krzysztof Pazdro, Warszawa 1998.
34. Czerwiński Z., *Dylematy ekonomiczne*, PWE, Warszawa 1992.
35. Decker G.H., Lambert J.C., *Fallout prediction*, TM 3210, Department of the Army, Washington 1962.
36. *DELFI: Department of Defense Fallout Prediction System*, Volume II – *User's Manual*, Atmospheric Science Associates, Bedford 1979.
37. Denus S. *Prognozowanie opadu promieniotwórczego przy pomocy cyfrowych maszyn matematycznych*, WAT, Warszawa 1966.
38. Denus S., Kowalik S., *Analiza empiryczno-graficznej metody prognozowania opadu promieniotwórczego*, WAT, Warszawa 1962.
39. *Department of Defense Land Fallout Prediction System*, Vol. I *System Description*, DASA-1800-I, Technical Operations Research, Burlington 1966.
40. *Department of Defense Land Fallout Prediction System*, Vol. III *Cloud Rise*, DASA-1800-III, Technical Operations Research, Burlington 1970.
41. *Department of Defense Land Fallout Prediction System*, Vol. IV *Atmospheric Transport*, DASA-1800-IV, Technical Operations Research, Burlington 1967.
42. *Department of Defense Land Fallout Prediction System*, Vol. V *Particle Activity*, DASA-1800-V, Technical Operations Research, Burlington 1968.
43. *Department of Defense Standard Practice, System Safety*, MIL-STD-882, Department of Defense, Washington 2012.
44. Derecki J., *Promieniowanie jonizujące*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1975.
45. Derecki J., *Skutki somatyczne ostrego napromienienia zewnętrznego i ocena możliwych strat ludności* [w:] *Zagrożenie radiacyjne ludności w czasie wojny jądrowej*, część I, Raport nr CLOR-90/I/D, Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej, Warszawa 1971.
46. Dittman P., *Prognozowanie w przedsiębiorstwie*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2003.
47. Dolan Ph.J., *Capabilities of Nuclear Weapons*, part I Phenomenology, DNA EM-1, Defense Nuclear Agency, Washington 1978.
48. Drell S.D., Goodby J.E., *What are nuclear weapons for?*, An Arms Control Association Report, 2005.
49. Dunning G.M., *Observed Fallout Patterns and Countermeasures Taken* [w:] *Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.

50. *Fallout from Nuclear Weapons Tests*, Summary-Analysis of Hearings May 5-8, Washington 1959.
51. *Fallout Prediction*, Department of the Army, FM 3-22, Washington 1973.
52. Ferber G.J., *Distribution of Radioactivity with Height in Nuclear Clouds* [w:] *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, CONF-765, Germantown 1964.
53. Ferber G.J., Heffter J.L., *Comparison of Fallout Model Predictions with Consideration of Wind Effects* [w:] *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, Rep. TID-7632, Germantown 1961.
54. Ferguson Ch.D., Potter W.C., *The four faces of nuclear terrorism*, Monterey Institute – Center for Nonproliferation Studies, Monterey 2004.
55. Filasiewicz A., *Prognoza, program, plan*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1977.
56. Flemming M., *Broń jądrowa a prawo międzynarodowe*, „Wojskowy Przegląd Prawniczy” nr 3–4, Warszawa 1998.
57. Fowler J.M., *Fallout*, Basic Books, Inc., New York 1960.
58. Freiling E.C., Crocker G.R., Adams Ch.E., *Nuclear-Debris Formation* [w:] *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, CONF-765, Germantown 1964.
59. Freiling E.C., *Fractionation in Surface Bursts* [w:] *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, Rep. TID-7632, Germantown 1961.
60. Fultyn R.V., *A Probabilistic Evaluation of Fallout Effects Associated with Nuclear Air Bursts*, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos 1974.
61. Garfinkel H., *Racjonalne cechy działalności naukowej i potocznej* [w:] E. Mokrzycki (red.), *Kryzys i schizma*, PWN, Warszawa 1984.
62. Garland D., *The rise of risk* [w:] R.V. Ericson, A. Doyle (red.), *Risk and morality*, University of Toronto Press, Toronto 2003.
63. Garvey J., *Nuclear Weapons Conterproliferation: A new Grand bargain*, Oxford University Press, Oxford 2013.
64. Gawliczek P., Pawłowski J., *Zagrożenia asymetryczne*, AON, Warszawa 2003.
65. Gibson T.A. Jr., *Gamma Fallout Fields, Project Palanquin*, Lawrence Radiation Laboratory University of California, Livermore 1965.
66. Glasstone S., Dolan Ph.J., *The Effects of Nuclear Weapons*, edition 3, Washington 1977.
67. Glasstone S., *Energia jądrowa*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958.
68. Glasstone S., Redman L.M., *An introduction to nuclear weapons*, WASH-1038, U.S. Atomic Energy Commission, Washington 1972.

69. Glasstone S., *Sourcebook on atomic energy*, Van Nostrand Company, Princeton, New Jersey, Toronto, London, Melbourne, 1967.
70. Głuszko A., Markow L., Pikulin L., *Broń atomowa i obrona przeciwoatomowa*, MON, Warszawa 1959.
71. Gomółka Z., *Doskonalenie funkcjonowania organizacji*, Difin, Warszawa 2009.
72. Goodby J.E., Kile S., Müller H., *Nuclear arms control* [w:] Yearbook SIPRI, Oxford, Nowy Jork 1995.
73. Gordon J.R., *A Diagnostic Approach to Organizational Behavior*, Allyn & Bacon, Boston 1991.
74. Gordon M.D., *Truman, Stalin i koniec monopolu atomowego*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2010.
75. Góralski A. (red.), *Zadanie, metoda, rozwiązanie*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1982.
76. Góralski A., *Twórcze rozwiązywanie zadań*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.
77. Grace Ch.S., *Nuclear weapons principles, effects and survivability*, Brassey's, Volume 10, 1993.
78. Greenfield S.M., Rapp R.R., Walters P.A., *A Catalog of Fallout Patterns*, The RAND Corporation, Santa Monica 1956.
79. Gsponer A., Hurni J-P., *The physical principles of thermonuclear explosives, inertial confinement fusion, and the quest for fourth generation nuclear weapons*, INESAP Conference, Shanghai, China, September 8–10, 1997, wydanie 2009.
80. Guzik B., Appenzeller D., Jurek W., *Prognozowanie i symulacje*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2004.
81. Hage K.D., Brown P.S., Arnason G., Lazorick S., Levitz M., *A Computer Program for the Fall and Dispersion of Particles in the Atmosphere*, The Travelers Research Center, Inc, Hartford 1967.
82. Hajduk Z., *Ogólna metodologia nauk*, KUL, Lublin 2005.
83. Hanifen D.W., *Documentation and Analysis of the WSEG-10 Fallout Prediction Model*, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, 1980.
84. Harvey T.F., Serduke F.J.D., *Fallout Model for System Studies*, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore 1979.
85. Hawking S., *Przewidywanie przyszłości*, Wydawnictwo Amber, Warszawa 1996.
86. Hawthorne H.A. (edit.) *Compilation of Local Fallout Data from Test Detonations 1945–1962 Extracted from DASA 1251*, Volume I – Continental U.S. Tests, General Electric Company – TEMPO, DNA 1251-1-EX, Washington 1979.

87. Hawthorne H.A. (edit.) *Compilation of Local Fallout Data from Test Detonations 1945–1962 Extracted from DASA 1251*, Volume II – *Oceanic U.S. Tests*, General Electric Company – TEMPO, DNA 1251-2-EX, Washington 1979.
88. Hawthorne H.A. *Fallout Hazard Prediction Inconsistencies*, DASIAC-SR-174, General Electric Company – TEMPO, Santa Barbara 1979.
89. *Hazard Prediction & Assessment Capability (HPAC)*, Defense Threat Reduction Agency (DTRA), Fort Belvoir 2005.
90. Haïssinsky M., *Chemia jądrowa i jej zastosowanie*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1959.
91. Helander E., *Radiation Risks from Different Internal and External Sources after Local Fallout* [w:] *Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.
92. Hellwig Z., *Schemat budowy prognozy statystycznej metodą wad harmoniczych*, „Przegląd Statystyczny”, zeszyt 2, Sopot 1967.
93. Hersey J., *Hiroshima*, Wydawnictwo Zysk i S-ka, Poznań 2013.
94. Hopkin P., *Fundamentals of Risk Management*, Kogan Page, London, Philadelphia, New Delhi 2010.
95. Howard R.A., Abbas A.E., *The foundations of decision analysis*, IEEE Transactions on Systems, Science and Cybernetics, SSC-4, tom 3.
96. Hryniewicz A.Z. (red), *Człowiek i promieniowanie jonizujące*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
97. Hubbard D.W., *The Failure of risk management, Why it's broken and how to fix it*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey 2009.
98. Huber O., *Halbleitermessungen von Fallout* [w:] *Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.
99. *Instrukcja Systemu Wykrywania Skazań w Siłach Zbrojnych RP*, MON, Warszawa 2002.
100. *Intelligence Preparation of the Battlefield/Battlespace*, ATP-2-01.3, Department of the Army, United States Marine Corps, Washington, Quantico 2015.
101. Iwanow A., *Promieniowanie jądrowe wybuchu atomowego*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1956.
102. Iwanow A., Rybkin G., *Działanie rażące wybuchu jądrowego*, MON, Warszawa 1962.
103. Jaracz P., *Promieniowanie w środowisku człowieka*, UW, Warszawa 2001.
104. Jaśtak Z., *Informator o skutkach działania broni jądrowej*, MON, Warszawa 1971.
105. Jaworowski Z., *Dobroczynne promieniowanie*, „Wiedza i Życie” nr 3.
106. Jezierski G., *Energia jądrowa wczoraj i dziś*, WNT, Warszawa 2005.
107. *Joint Doctrine for Combating Weapons of Mass Destruction*, JP 3-40, 2004.

108. *Joint Doctrine for Operations in Nuclear, Biological, and Chemical (NBC) Environment*, JP 3-11, 2000.
109. *Joint Intelligence Preparation of the Operational Environment*, JP 2-01.3, Washington 2009.
110. Jungk R., *Jaśniej niż tysiąc słońc*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1967.
111. Juszczak S., *Metodologia badań empirycznych w naukach społecznych, tom I. Badania ilościowe*, Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego, Katowice 2001.
112. Kasperson J.X., Kasperson R.E., Pidgeon N., Slovic P., *The Social Amplification of Risk: Assessing 15 years of research* [w:] N. Pidgeon, R.E. Kasperson, P. Slovic (red.), *The Social Amplification of Risk*, Cambridge University Press, Cambridge 2003.
113. Kellogg W.W., *Atmospheric Transport and Close-In Fallout of Radioactive Debris from Atomic Explosions* [w:] *The Nature of Radioactive Fallout and its Effects on Man*, Hearings before the Special Subcommittee on Radiation of the Joint Committee on Atomic Energy Congress of The United States, Washington May 27–29 and June 3, 1957.
114. Kellogg W.W., Rapp R.R., Greenfield S.M., *Close-in Fallout*, „Journal of Meteorology” Vol. 14, No 1, 1957.
115. Kildiszew G., Frenkel A., *Analiza szeregów czasowych i prognozowanie*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1976.
116. Kile S., *Nuclear arms control* [w:] SIPRI Yearbook 1998.
117. Klóska R., Hundert M., Czyżycki R., *Wybrane zagadnienia z prognozowania*, Economicus, Szczecin 2007.
118. Knox J.B., Crawford T.V., Crandall W.K., *Potential Exposures from Low-Yield Free Air Bursts*, UCRL-51164, Lawrence Livermore Laboratory, University of California, Livermore 1971.
119. Knox J.B., *Prediction of Fallout from Subsurface Nuclear Detonations* [w:] *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, CONF-765, Germantown 1964.
120. Kopcewicz T., *Fizyka atmosfery*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1988.
121. Kotarbiński T., *Traktat o dobrej robocie*, Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź, 1982.
122. Kothari D.S., Bhabha H., Khanolkar V.R., *Nuclear explosions and their effects*, The Publications Division Ministry of Information & Broadcasting Government of India, Delhi 1958.
123. Kowalik S., *Analityczna metoda wyznaczania przewidywanego rozkładu skażenia powierzchni ziemi po wybuchu jądrowym*, WAT, Warszawa 1972.

124. Kownacka L., *Chmury radioaktywne i obszary skażeń towarzyszące wybuchom jądrowym* [w:] *Zagrożenia radiacyjne ludności w czasie wojny jądrowej*, część I, Raport CLOR-90/I/D, Warszawa 1972.
125. Koziński J., *Psychologiczna teoria decyzji*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1975.
126. Kristensen H.M., *Non-Strategic Nuclear Weapons*, Federation of American Scientists, „Special Report” No 3, Washington 2012.
127. Kristensen H.M., Norris R.S., *Slowing nuclear weapon reduction and endless nuclear weapon modernisations: A challenge to the NPT*, „Bulletin of the Atomic Scientists” 2014, Vol. 70(4).
128. Krupa K., *Modelowanie symulacje i prognozowanie*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
129. Kubowski J., *Broń jądrowa fizyka – budowa – działanie – skutki – historia*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
130. Kubowski J., *Historia bomby atomowej*, Wydawnictwo Poligraf, Brzezina Łąka 2014.
131. Kucharski A., *Prognozowanie szeregów czasowych metodami ewolucyjnymi*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2013.
132. Kunkle T., Ristvet B., *Castle Bravo: Fifty Years of Legend and Lore*, Defense Threat Reduction Agency, Defense Threat Reduction information Analysis Center, DTRIAC SR-12-001, Washington 2013.
133. Lee H., Millican R.W., Hardman W.F., *Present and Future Capabilities for Battlefield Radiation Hazard Assessment*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1973.
134. Lee H., Wong P.W., Brown S.L., *Simplified Fallout Computational Systems for Damage Assessment*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1971.
135. Łobocki M., *Wprowadzenie do metodologii badań pedagogicznych*, Impuls, Kraków 1999.
136. Machta L., List R.J., Telegadas K., *An Interpretation of Global Fallout* [w:] *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, Rep. TID-7632, Germantown 1961.
137. Machta L., *Status of global Radioactive-fallout Predictions* [w:] *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, proc. of a conference, CONF-765, Germantown 1964.
138. Maciąg A., Pietroń R., Kukła S., *Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
139. *Meteorology and Atomic Energy*, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington 1955.
140. *Metodyka analizy i oceny sytuacji skażeń promieniotwórczych po wybuchach jądrowych*, MON, Warszawa 1963.

141. *Metodyka oceny sytuacji chemicznej*, MON, Warszawa 1981.
142. *Metodyka oceny sytuacji chemicznej po skażeniach toksycznymi środkami przemysłowymi*, MON, Warszawa 1993.
143. *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej i chemicznej na podstawie danych z rozpoznania*, MON, Warszawa 1984.
144. *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie*, MON, Warszawa 1991.
145. *Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej*, MON, Warszawa 1975.
146. *Metodyka oceny sytuacji skażeń chemicznych, biologicznych i promieniotwórczych*, MON, Warszawa 2013.
147. *Metodyka prognozowania i oceny sytuacji po uderzeniach BMR w wojskach OPK*, Dowództwo WOPK, Warszawa 1977.
148. *Metodyka prognozowania i oceny strat w rejonach uderzeń jądrowych*, MON, Warszawa 1991.
149. *Metodyka sporządzania prognoz wojskowych*, ASG, Warszawa 1986.
150. Michalak Z., *Analityczny opis rzeczywistego rozkładu promieniotwórczego skażenia terenu*, WAT, Warszawa 1976.
151. Michalewicz Z., Fogel D.B., *Jak to rozwiązać, czyli nowoczesna heurystyka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
152. Michalski H., *Pierwsze 100 godzin wojny nuklearnej*, MON, Warszawa 1969.
153. Mikołajczyk Z., *Techniki organizatorskie w rozwiązywaniu problemów zarządzania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
154. Miller A.D., *A Comparison in the Accuracy of Mapping Nuclear Fallout Patterns Using HPAC, HYSPLIT, DELFIC FPT and an AFIT FORTRAN95 Fallout Deposition Code*, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, 2011.
155. Miller C.F., *Biological and Radiological Effects of Fallout from Nuclear Explosions*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1964.
156. Miller C.F., *Fallout and Radiological Countermeasures*, Stanford Research Institute, Project No IM-4021, Vol. 1, 1963.
157. Miller C.F., *Fallout Models and Radiological Countermeasures Evaluations*, Stanford Research Institute, Menlo Park 1965.
158. Miller C.F., *Local Fallout Hazard Assessment [w:] Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.
159. Miller C.F., *The Nature and Behavior of Local Fallout [w:] Radiological Protection of the Public in a Nuclear Mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.
160. Morgentkau M., Shewers R.L., *Local Fallout from Nuclear Test Detonations, Volume II Compilation of fallout Patterns and Related test Data*, Supplement *Foreign Nuclear Tests*, DASA 1251, U.S. Army Nuclear Defense Laboratory, Edgewood Arsenal 1964.

161. *Multiservice tactics, techniques, and procedures for chemical, biological, and nuclear contamination avoidance*, FM 3-11.3, Washington 2009.
162. *Multi-service tactics, Techniques, and Procedures for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Aspects of Command and Control*, ATTP 3-11.36, Washington, Quantico, Newport, Tyndall Air Force Base 2010.
163. Мясников В.В., *Защита от оружия массового поражения*, Военное Издательство, Москва 1989.
164. Nagai P., *Dzwony Nagasaki*, Wydawnictwo PAX, Warszawa 1955.
165. *NATO Handbook on the medical aspects of NBC defensive operations*, AMedP-6(B), part I, Washington 1996.
166. *NATO Handbook on the medical aspects of NBC defensive operations*, AMedP-6(C), Volume I, Washington 2005.
167. Naumienko I., Piotrowski I., *Fala uderzeniowa wybuchu atomowego*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1957.
168. Nejman M., Sadilenko K., *Broń termojądrowa*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1959.
169. Norment H.G., *An Analytical Fallout Prediction model and Code, DNAF-1*, Atmospheric Science Associates, Bedford 1981.
170. Nowak S., *Metodologia badań społecznych*, PWN, Warszawa 2011.
171. Nowak I., Łabędzki J., *Skażenia promieniotwórcze środowiska*, AON, Warszawa 1996.
172. *Nuclear Contamination Avoidance*, Department of the Army, Washington 1994.
173. *Nuclear Weapons Employment Doctrine and Procedures*, FM 101-31-1, Department of the Army, Washington 1968.
174. *Nuclear Weapons Employment*, FM 101-31-3, Department of the Army, Washington 1968.
175. *Nuclear, biological, and chemical (NBC) vulnerability analysis*, Washington 1997.
176. O'shaughnessy J., *Metodologia decyzji*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1975.
177. Oelrich I., *Missions for Nuclear Weapons after the Cold War*, Federation of American Scientists, Occasional Paper No. 3, 2005.
178. Parker E.N., *Radioactive Fallout from Nuclear Explosions*, A statement before the Department of defense Subcommittee, Committee on Appropriations, United States House of Representatives on 23 March 1960, Washington.
179. Patej T., *Broń jądrowa*, WAT, Warszawa 1963.
180. Pawłowski Z., *Zasady predykcji ekonometrycznej*, PWN, Warszawa 1982.
181. Piątkowski A., *Pył promieniotwórczy*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1962.

182. Pięta J., *Broń neutronowa*, MON, Warszawa 1986.
183. Pióro T., *Broń jądrowa (geneza – działanie – skutki)*, Omega, Wiedza Powszechna, Warszawa 1971.
184. Pirie A. (red.), *Śmiercionośny pył*, Książka i Wiedza, Warszawa 1958.
185. *Plan współdziałania jednostek organizacyjnych wchodzących w skład jednolitego Krajowego Systemu Wykrywania Skazań i Alarmowania*, MON, Warszawa 2015.
186. Polya G., *Jak to rozwiązać?*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
187. Pugh G.E., Galiano R.J., *An Analytical Model of Close-In Deposition of Fallout for Use in Operational-Type Studies*, Weapon Systems Evaluation Group, WSEG-RM-10, Washington 1959.
188. *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, Proceedings of a Conference Held in Germantown, November 15–17, 1961.
189. *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, Proceedings of the Second Conference in Germantown, November 3–6, 1964.
190. *Radiological Protection of the Public in a Nuclear Mass Disaster*, Proceedings of a Symposium, Interlaken, 26 May–1 June 1968.
191. Radzikowska B. (red.), *Metody prognozowania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego, Wrocław 2004.
192. Radzikowski W., *Badania operacyjne w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1977.
193. Rapp R.R., *A Mathematical Model of the Phenomenon of Radioactive Fallout*, P-882-AEC, (RAND), Santa Monica 1956.
194. Rapp R.R., *A New Model of Fallout Calculation*, Report RM-2115 (RAND), Santa Monica 1958.
195. Rapp R.R., *A re-examination of fallout models*, Report RM-4910 (RAND), Santa Monica 1966.
196. Rapp R.R., *A Simplified Model for Fallout Calculations*, Report RM-2193 (RAND), Santa Monica 1958.
197. *Reporting nuclear detonations, biological and chemical attacks and predicting and warning of associated hazards and hazard areas*, ATP-45(C), Stanag 2103, Brussels 2005.
198. *Risk Management*, ATP 5-19, Department of the Army, Washington 2014.
199. *Risk Management*, FM 3-100.12, Fort Monroe, Quantico, Newport, Maxwell Air Force Base 2001.
200. *Risk Management*, Pamphlet 385-30, Department of the Army, Washington 2014.
201. Rolbiecki W., *Przewidywanie przyszłości*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1970.

202. Rotter A.J., *Bomba atomowa. Świat wobec zagrożenia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011,
203. Rowland R., *Fallout Computer Codes A Bibliographic Perspective*, Kaman Science Corporation, Santa Barbara 1994.
204. Runka H.J., *Optymalizacja w procesach gospodarczych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2003.
205. Ruotanen N.H., *An Improvement to the WSEG Fallout Model Low Yield Prediction Capability*, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, 1978.
206. Schiff A., *Problems with Predicting Fallout Radiation Hazard in Tactical Battlefield Situations*, TID-4500, UCRL-51440, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore 1973.
207. Schuert E.A., *A Fallout Forecasting Technique with Results Obtained at The Eniwetok Proving Ground*, U.S. Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco 1957.
208. Secomski K., *Prognozyka*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1971.
209. Seery C.J., Polan M., *An Analysis of the fallout Prediction Models*, Volume II: *Analysis, Comparison and Evaluation of Model Prediction*, NRDL-TRC-68-59, U.S. Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco 1968.
210. Siedlecka U., *Prognozowanie w gospodarce*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1996.
211. Sienkiewicz P., *Inżynieria systemów*, MON, Warszawa 1983.
212. Siergiejew S., Rjabczuk W., *Wybuch atomowy na morzu*, MON, Warszawa 1957.
213. Silver N., *Sygnal i szum. Sztuka prognozowania w erze technologii*, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2014.
214. Simon H.A., *Działanie administracji*, PWN, Warszawa 1976.
215. Simon H.A., *Podejmowanie decyzji i zarządzanie ludźmi w biznesie i administracji*, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2007.
216. Smoluk A., *Matematyka, nauka, ekonomia*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1993.
217. Snarska A., *Statystyka, ekonometria, prognozowanie*, Wydawnictwo Placet, Warszawa 2013.
218. Sobczyk M., *Prognozowanie*, Placet, Warszawa 2008.
219. Solarz J., *Analiza wybranych zagadnień unifikacji obrony przeciwchemicznej w ramach doktryny NBC sił NATO*, AON, Warszawa 2000.
220. Solarz J., *Broń jądrowa i bezpieczny świat*, „ZN AON” nr 2, Warszawa 2006.
221. Solarz J., *Broń jądrowa i radiologiczna, czyli, o czym marzą terroryści*, „ZN AON” nr 1, Warszawa 2007.

222. Solarz J., *Broń radiologiczna jako środek terroru*, „Bellona” nr 1/2010, Warszawa.
223. Solarz J., *Czynniki rażenia broni jądrowej, cz. I. Impuls elektromagnetyczny*, „ZN AON” 2002, nr 2.
224. Solarz J., *Czynniki rażenia broni jądrowej, cz. II. Promieniotwórcze skażenie terenu*, „ZN AON” 2002, nr 3/4.
225. Solarz J., *Czynniki rażenia broni jądrowej, cz. III. Promieniowanie przenikliwe*, „ZN AON” 2003, nr 1.
226. Solarz J., *Czynniki rażenia broni jądrowej, cz. IV. Fala uderzeniowa*, „ZN AON” 2004, nr 1.
227. Solarz J., *Czynniki rażenia broni jądrowej, cz. V. Promieniowanie świetlne*, „ZN AON” 2004, nr 2.
228. Solarz J., Malicki E., Syryjczyk R., *Potrzeby oraz organizacja pomiaru i ewidencji napromienienia żołnierzy w czasie pokoju, kryzysu i wojny*, AON, Warszawa 2005.
229. Solarz J., Malicki M., Młynarczyk M., *Wojska chemiczne w systemie obrony przed bronią masowego rażenia*, AON, Warszawa 2009.
230. Solarz J., Młynarczyk M., *Rozpoznanie skażeń we współczesnych uwarunkowaniach, cz. II. Optymalizacja procedur rozpoznania skażeń*, AON, Warszawa 2011.
231. Solarz J., Młynarczyk M., *Wybrane problemy prognozowania skażeń*, AON, Warszawa 2009.
232. Solarz J., *Nierzeczywiste aspekty opracowania rzeczywistej sytuacji skażeń promieniotwórczych*, „ZN AON” nr 1/2011.
233. Solarz J., *Obrona przed środkami masowego rażenia w warunkach zagrożenia terrorystycznego*, AON, Warszawa 2006.
234. Solarz J., *Ocena sytuacji skażeń w atmosferze po uderzeniach jądrowych*, AON, Warszawa 2003.
235. Solarz J., *Prognozowanie skażeń chemicznych i promieniotwórczych w świetle standardów NATO, cz. I. Skażenia promieniotwórcze*, AON, Warszawa 2001.
236. Solarz J., *Prognozowanie skażeń chemicznych i promieniotwórczych w świetle standardów NATO, cz. II. Skażenia chemiczne*, AON, Warszawa 2002.
237. Solarz J., *Prognozowanie skażeń promieniotwórczych*, AON, Warszawa 2006.
238. Solarz J., *Przewidywana sytuacja skażeń, czyli heurystyka w prognozowaniu*, „Zeszyty Naukowe AON” nr 4, Warszawa 2009.
239. Solarz J., *Rozpoznanie skażeń w Siłach Zbrojnych RP*, „ZN AON” nr 4/2012.
240. Solarz J., Słomka L., Młynarczyk M., *Rozpoznanie skażeń we współczesnych uwarunkowaniach, cz. I. Potrzeby i możliwości rozpoznania skażeń w czasie pokoju, kryzysu i wojny*, AON, Warszawa 2011.

241. Solarz J., *Zadania wojsk chemicznych w operacjach*, AON, Warszawa 2008.
242. Stańko S. (red.), *Prognozowanie w agrobiznesie*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2013.
243. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J B., Cohen M.D., and Ngan E., *NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System*. Bulletin of the American Meteorological Society, Volume 96, Issue 12, Maryland 2015.
244. Steton R.L., Schuert E.A., Perkins W.W., Shirasawa T.H., Chan H.K., *Operation Castle Project 2.5a Distribution and Intensity of Fallout*, U.S. Naval Radiological Defense Laboratory, San Francisco 1956.
245. Striebel H.R., *Basis and Principles for the Interpretation of Radioactive Contamination* [w:] *Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.
246. Such J., Szcześniak M., *Filozofia nauki*, UAM, Poznań 2006.
247. Sułek M., *Prognozowanie i symulacje międzynarodowe*, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa 2010.
248. Supernat J., *Techniki decyzyjne i organizatorskie*, Kolonia Limited, 2003.
249. Syrniaw W., Pietrow N., *Promieniowanie jądrowe i jego pomiary*, MON, Warszawa 1957.
250. Szepeke R., *Problemy promieniotwórczych skażeń otoczenia i skażeń wewnętrznych*, „Postępy Techniki Jądrowej” nr 33(248), Warszawa 1965.
251. Śladkowski S., Moskal E., *Metody oceny sytuacji skażeń*, AON, Warszawa 2000.
252. *Tactical Nuclear operations*, FM 100-30, Department of the Army, Washington 1971.
253. Taylor L.S., *Planning for decision Making in a Nuclear Disaster* [w:] *Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.
254. Teller E., Talley W.K., Higgins G.H., Johnson G.W., *The constructive uses of nuclear explosives*, McGraw-Hill Book Company, New York, San Francisco, St. Louis, Toronto, London, Sydney 1968.
255. Teresi J.D., *Beta-Radiation Hazard and Beta-Gamma Relationships Associated with Local Fallout* [w:] *Radiological protection of the Public in a nuclear mass Disaster*, proc. of Symp., Interlaken 1968.
256. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Annals of the ICRP, Publication 103, ELSEVIER, 2007.
257. *The medical aspects of NBC defensive operations*, part I, Washington 1996.
258. *The Operations Process*, ADRP 5-0, Department of the Army, Washington 2012.

259. *The Shorter-Term Biological Hazards of a Fallout Field*, Symposium, Washington December 12–14, 1956. *Radioactive Fallout from Nuclear Weapons Tests*, Proceedings of a Conference Held in Germantown, November 15–17, 1961.
260. Timofiejew B.N., *Прогнозирование радиоактивного заражения*, Издательство ИГ, Москва 1969.
261. Tomaszewski T., *Wstęp do psychologii*, Warszawa 1963.
262. *Treatment of nuclear and radiological casualties*, Department of the Army, Washington, 2001.
263. Wardaszko T., *Powstawanie i własności pyłu promieniotwórczego [w:] Zagrożenia radiacyjne ludności w czasie wojny jądrowej, część I*, Raport CLOR-90/I/D, Warszawa 1972.
264. *Warning and Reporting and Hazard prediction of Chemical, Radiological and Nuclear Incidents*, ATP-45(D), STANAG 2103, NSA, Brussels 2010.
265. Waters D., *Zarządzanie operacyjne. Towary i usługi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
266. Weiss M.M., *A Study of Airborne radioactivity at Brookhaven National Laboratory from the Nevada Tests*, Brookhaven National Laboratory, Upton 1953.
267. Wilczyński J.M., *Przewidywanie probabilistyczne zdarzeń binarnych*, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk 1980.
268. Willis J.C., *The History of Fallout Prediction*, School of Engineering Air Force Institute of technology Wright-Patterson Air Force Base, 1979.
269. Wiśniewski E., *Metodyka wojskowych badań naukowych, cz. I, zeszyt 3, Metody – sposoby działania*, AON, Warszawa 1990.
270. Wiśniewski E., *Podjęmowanie decyzji, wybrane zagadnienia*, Politechnika Koszalińska, Koszalin 1998.
271. *Worst Weapons In Worst Hands*, The National Security Advisory Group, 2005.
272. Wright J.H., Taback L., Skramstad H.K., *A High-Speed Computer for predicting Radioactive Fallout*, Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 58, No 2 Gaithersburg 1957.
273. Wrzosek M., *Ocena przeciwnika i prognozowanie zagrożenia w wojskach lądowych*, AON, Warszawa 2008.
274. Wykpisz A., *Analiza, rozwinięcie i doświadczalne sprawdzenie funkcji opisującej moc dawki w atmosferze od rozległych skażeń promieniotwórczych terenu*, WAT, Warszawa 1963.
275. *Zarządzanie ryzykiem, zasady i wytyczne*, PN-ISO 31000, PKN, Warszawa 2012.

276. Zeliaś A., *Teoria prognozy*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1997.
277. Żarnowiecki K., *Broń jądrowa i jej działanie* [w:] *Zagrożenia radiacyjne ludności w czasie wojny jądrowej*, część I, Raport CLOR-90/I/D, Warszawa 1972.
278. *Боевые свойства ядерного оружия*, Военное Издательство Министерства Обороны СССР, Москва 1967.
279. *Защита от оружия массового поражения*, Военное Издательство, Москва 1989.
280. *Справочник по боевым свойствам атомного оружия и средствам противатомной защите*, Военное Издательство Министерства Обороны, Москва 1957.
281. *Таблицы для определения радиоактивного заражения местности при атомных взрывах*, Военное Издательство Министерства Обороны, Москва 1960.
282. *Ядерное оружие*, Министерство Обороны СССР, Москва 1969.

Źródła internetowe:

- <http://www.armscontrol.org/>
- <http://carnegieendowment.org/programs/npp/>
- <http://fas.org/>
- <http://www.ippnw.org/>
- <http://armscontrolcenter.org/>
- <http://www.nonproliferation.org/>
- <http://www.sipri.org/>
- <http://www.cnduk.org/>
- <http://thebulletin.org/>
- <http://www.nndc.bnl.gov/>
- <http://nuclearweaponarchive.org/>
- <https://www.iaea.org/>
- <http://www.lanl.gov/>
- <http://coas.wp.mil.pl/pl/index.html>

Akty prawne:

- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* (Dz.U. 2008 Nr 25, poz. 150).
- Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. *Prawo atomowe*, (Dz.U.2001 Nr 3, poz. 18).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 stycznia 2013 r. *w sprawie systemów wykrywania skażeń i powiadamiania o ich wystąpieniu oraz właściwości organów w tych sprawach*, (Dz.U. 2013, poz. 96).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. *w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego* (Dz.U. Nr 20, poz. 168).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. *w sprawie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych* (Dz.U. 2002 Nr 239, poz. 2030).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. *w sprawie planów postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych* (Dz.U. Nr 20, poz. 169).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. *w sprawie informacji wyprzedzającej dla ludności na wypadek zdarzenia radiacyjnego* (Dz.U. 2004 Nr 102, poz. 1065).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 r. *w sprawie określenia podmiotów właściwych w sprawach kontroli po zdarzeniu radiacyjnym żywności i środków żywienia zwierząt na zgodność z maksymalnymi dopuszczalnymi poziomami skażeń promieniotwórczych* (Dz.U. 2004 Nr 98, poz. 988).

Konwencje i porozumienia międzynarodowe:

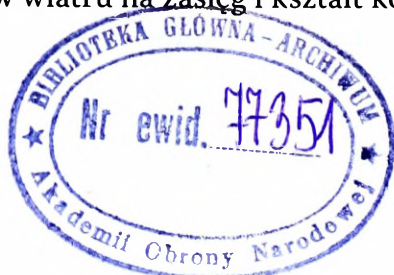
- Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT) Układ o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej z 1968 roku (Dz.U. 1970 Nr 8, poz. 60).
- Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT) Traktat o całkowitym zakazie prób z bronią jądrową, Nowy Jork, 10 września 1996 r.
- Strategic Offensive Reduction Treaty (SORT) – umowa podpisana 24 maja 2005 r. w Moskwie podczas szczytu George Bush – Władimir Putin.
- Strategic Arms Reduction Treaty (START I) – układ o redukcji zbrojeń strategicznych z serii układów START, zawarty między Stanami Zjednoczonymi a Związkiem Socjalistycznych Republik Radzieckich, podpisany 31 lipca 1991.
- Strategic Arms Reduction Treaty (START II) – drugi traktat START o redukcji zbrojeń strategicznych, podpisany 3 stycznia 1993 przez prezydenta George’a Busha Seniora i prezydenta Borysa Jelcyna.
- Strategic Arms Limitation Treaty (SALT I) – pierwszy z układów o ograniczeniu zbrojeń strategicznych podpisany 26 maja 1972 roku między USA, a ZSRR.

WYKAZ TABEL

1. Siły jądrowe świata w 2015 r.	26
2. Ciśnienie dynamiczne, prędkość wiatru i nadciśnienie statyczne wybuchu	29
3. Zasięg zniszczenia sprzętu spowodowanego falą uderzeniową.....	30
4. Widmo promieniowania świetlnego w zależności od temperatury	33
5. Impulsy świetlne [kJ/m^2] w różnych odległościach od wybuchu w zależności od wartości współczynnika osłabiania promieniowania świetlnego [k]	35
6. Skuteczny zasięg kwantów gamma w powietrzu na różnych wysokościach.....	40
7. Rozkład dawki pochłanianej od neutronów i promieniowania gamma.....	43
8. Definicje ryzyka	71
9. Typologia zadań optymalizacyjnych	77
10. Cele prognozowania skażeń promieniotwórczych.....	86
11. Biologiczne efekty promieniowania.....	86
12. Aktywność substancji promieniotwórczych z poszczególnych źródeł	93
13. Zredukowana wysokość wybuchu jądrowego	96
14. Dopuszczalne dawki promieniowania niepowodujące obniżenia zdolności bojowej wojsk.....	99
15. Stopnie ryzyka dla określonych stanów napromienienia	101
16. Wymiary ustabilizowanego obłoku promieniotwórczego	106
17. Wybrane metody predykcji opadu promieniotwórczego (USA)	114
18. Przeliczniki do określania referencyjnych konturów mocy dawki dla naziemnych wybuchów jądrowych różnej mocy przy wietrze 24 km/h	124
19. Długość i szerokość stref skażeń (km) na śladzie obłoku.....	130
20. Średnie moce dawek (cGy/h) na zewnętrznych granicach stref skażonych.....	131
21. Kategorie prawdopodobieństwa w procesie zarządzania ryzykiem	154
22. Kategorie skutków zagrożenia w procesie zarządzania ryzykiem.....	155
23. Matryca oceny ryzyka	155
24. Trzyskładnikowa ocena ryzyka.....	156
25. Zmienne zadaniowe.....	162
26. Potencjalne obiekty ataku jądrowego na obszarze średniego kraju	169
27. Czas opadania cząstek pyłu z wysokości 12 km.....	180

WYKAZ RYSUNKÓW

1. Kalkulacja mocy wybuchu ładunku jądrowego.....	21
2. Podział ładunków jądrowych.....	22
3. Obieg informacji o skażeniach promieniotwórczych	59
4. Struktura Systemu Wykrywania Skażeń SZ RP	61
5. Trójwymiarowe środowisko decyzji.....	67
6. Typy prognozowania skażeń po wybuchach jądrowych.....	82
7. Rozkład mocy dawki na osi śladu obłoku.....	117
8. Izolinie mocy dawki według modelu Millera.....	118
9. Wyznaczanie sektora niebezpieczeństwa.....	121
10. Przepuszczalne kontury mocy dawki opadu lokalnego po wybuchu naziemnym ładunku rozszczepialnego o mocy 1 Mt	123
11. Kontury opadu według metody hodografu	125
12. Nomogram do wykreślania konturów opadu metodą hodografu	126
13. Wyznaczanie stref skażeń według metod rosyjskich	128
14. Wyznaczanie stref skażeń metodą stref-elips.....	129
15. Wyznaczanie stref skażeń metodą ATP-45.....	134
16. Czynniki mające wpływ na zagrożenie bronią masowego rażenia.....	143
17. Czynniki rozpatrywane w trakcie oceny sytuacji BMR	147
18. Etapy procesu zarządzania ryzykiem	153
19. Określanie ryzyka BMR i zakresu środków zaradczych.....	157
20. Ocena prawdopodobieństwa użycia broni jądrowej	160
21. Podział materialnych obiektów ataku jądrowego	168
22. Istota i rodzaje przewidywania.....	173
23. Formowanie stref skażeń po naziemnym wybuchu jądrowym	174
24. Przygotowanie izolinii mocy dawek	177
25. Rzeczywista sytuacja skażeń	178
26. Kontury stref skażeń 15 Mt wybuchu BRAVO.....	182
27. Dynamika stref skażeń	185
28. Rzeczywista sytuacja skażeń w różnym czasie po wybuchu.....	186
29. Prognozowane dawki promieniowania pochłonięte podczas działania w terenie skażonym.....	187
30. Wpływ wiatru na zasięg i kształt konturów skażenia.....	191





WYDZIAŁ BEZPIECZEŃSTWA NARODOWEGO AKADEMII OBRONY NARODOWEJ



Wydział Bezpieczeństwa Narodowego jest jedną z dwóch podstawowych jednostek organizacyjnych Akademii Obrony Narodowej. Jest także jedynym w Polsce ośrodkiem naukowo-dydaktycznym łączącym niemilitarną i militarną problematykę sfery bezpieczeństwa narodowego. Posiada uprawnienia do nadawania stopnia doktora i doktora habilitowanego w obszarze nauk społecznych, dziedzinie nauk społecznych w dyscyplinie nauki o bezpieczeństwie oraz doktora w obszarze nauk społecznych, dziedzinie nauk społecznych w dyscyplinie nauki o obronności. Wydział jest wiodącym w kraju ośrodkiem w zakresie bezpieczeństwa narodowego, czego wyrazem jest, między innymi, stała współpraca z Siłami Zbrojnymi RP, Biurem Bezpieczeństwa Narodowego, Rządowym Centrum Bezpieczeństwa, Komendą Główną Policji, Komendą Główną Straży Granicznej, Komendą Główną Państwowej Straży Pożarnej, z przedstawicielami organów i władzy rządowej i samorządowej, instytucjami MSW, uczelniami resortu obrony narodowej i podległymi MSW.

Misją Wydziału jest przygotowanie wojskowych i cywilnych profesjonalistów z obszaru bezpieczeństwa do rozwiązywania problemów w dziedzinie bezpieczeństwa narodowego i międzynarodowego, poprzez: prowadzenie interdyscyplinarnych badań naukowych, realizację nowoczesnych programów nauczania oraz wsparcie i doradztwo naukowe podmiotów działających w obszarze bezpieczeństwa i obronności państwa.

Wydział prowadzi stacjonarne i niestacjonarne studia I, II i III stopnia oraz niespotykane na innych uczelniach studia podyplomowe oraz kursy i szkolenia.

STUDIA PODYPLOMOWE:

- analiza informacji w bezpieczeństwie narodowym
- bezpieczeństwo narodowe
- bezpieczeństwo wewnętrzne
- bezpieczeństwo cyberprzestrzeni RP
- bezpieczeństwo informacji w administracji
- bezpieczeństwo zdrowotne
- edukacja dla bezpieczeństwa
- media a bezpieczeństwo
- międzynarodowe stosunki wojskowe
- pozyskiwanie środków z Funduszy Unijnych
- prawo bezpieczeństwa
- przygotowania obronne państwa
- strategiczne studia bezpieczeństwa narodowego
- studia azjatyckie
- turystyka historyczno-wojskowa
- użycie siły w konfliktach zbrojnych
- wartościowanie technologii bezpieczeństwa
- współczesne konflikty zbrojne
- zarządzanie kryzysowe
- zarządzanie projektami systemów bezpieczeństwa
- zarządzanie ryzykiem w bezpieczeństwie narodowym
- zarządzanie strategiczne i kontrola zarządcza w organizacjach systemu bezpieczeństwa narodowego

STUDIA LICENCJACKIE:

- Administracja
- Bezpieczeństwo narodowe
- Bezpieczeństwo wewnętrzne
- Historia
- Inżynieria systemów bezpieczeństwa
- Stosunki międzynarodowe
- Bezpieczeństwo międzynarodowe

STUDIA MAGISTERSKIE:

- Administracja
- Bezpieczeństwo narodowe
- Bezpieczeństwo wewnętrzne
- Stosunki międzynarodowe

STUDIA DOKTORANCKIE:

- Nauki o bezpieczeństwie

KURSY:

- Wyższe Kursy Obronne
- Kursy Obronne
- Kursy Zarządzania Kryzysowego

Wydział Bezpieczeństwa Narodowego
Akademia Obrony Narodowej
al. gen. Antoniego Chruściela „Montera” 103
00-910 Warszawa



261 814 657
dziekanat.wbn@aon.edu.pl
www.wbn.aon.edu.pl
www.facebook.com/WBN.AON



WYDAWNICTWO
AON

WYDAWNICTWO

e-mail: wydawnictwo@aon.edu.pl

tel. 261 813 671, tel./fax 261 813 752

KSIĘGARNIA

e-mail: ksiegarnia.akademicka@aon.edu.pl

261 814 608

261 814 055

SKLEP INTERNETOWY

www.ksiegarnia.aon.edu.pl

al. gen. A. Chruściela 103, 00-910 Warszawa



Oferujemy następujące usługi:

- przygotowanie projektów graficznych
- opracowanie redakcyjne i korektę
- usługi introligatorskie
- skład komputerowy
- drukowanie

Nasze atuty:

- długoletnie doświadczenie
- kompleksowa obsługa
- konkurencyjne ceny
- wysoka jakość
- krótkie terminy

ISBN 978-83-7523-494-7

