



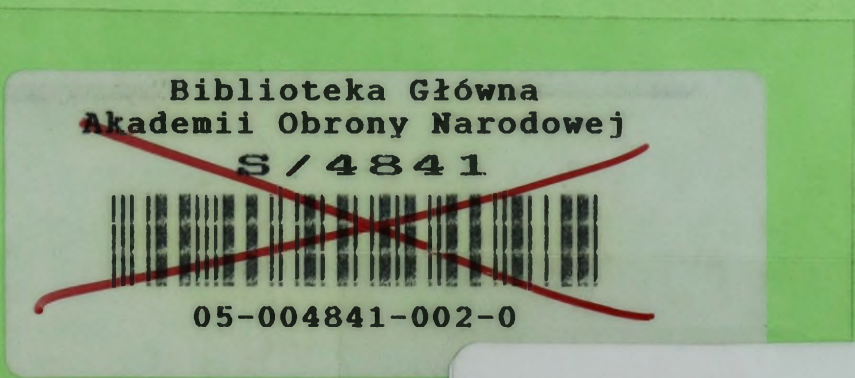
# AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

KATEDRA WSPARCIA DZIAŁAŃ

Mjr dr Jarosław SOLARZ

## PROGNOZOWANIE SKAŻEŃ CHEMICZNYCH I PROMIENIOTWÓRCZYCH W ŚWIETLE STANDARDÓW NATO

Cz. I  
SKAŻENIA PROMIENIOTWÓRCZE



WARSZAWA

68988



**AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ**  
**KATEDRA WSPARCIA DZIAŁAŃ**

---



mjr dr Jarosław SOLARZ

**PROGNOZOWANIE SKAŻEŃ CHEMICZNYCH  
I PROMIENIOTWÓRCZYCH W ŚWIETLE STANDARDÓW NATO**

**cz. I SKAŻENIA PROMIENIOTWÓRCZE**



---

**WARSZAWA**

**2001**

Recenzent: płk prof. dr hab. Stanisław Śladkowski

## SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE .....	4
1. Skażenia promieniotwórcze .....	9
1.1. Zasady ogólne .....	9
1.2. Charakterystyka opadu promieniotwórczego .....	11
1.2.1. Fazy opadu promieniotwórczego .....	11
1.2.2. Wpływ wysokości wybuchu oraz czynników zewnętrznych na charakter opadu promieniotwórczego .....	14
1.3. Skażenia spowodowane promieniowaniem wzbudzonym .....	15
2. Określanie parametrów wybuchu jądrowego .....	21
2.1. Określanie mocy wybuchu jądrowego według dotychczasowych metod .....	21
2.2. Określanie mocy wybuchu jądrowego według ATP-45 .....	23
2.3. Porównanie istniejących metod określania mocy wybuchu .....	27
3. Określanie parametrów stref skażeń promieniotwórczych .....	29
3.1. Polska metoda wyznaczania stref skażeń promieniotwórczych .....	29
3.2. Natowska metoda wyznaczania stref skażeń promieniotwórczych .....	32
3.2.1. Szczegółowa procedura prognozowania skażeń .....	33
3.2.2. Uproszczona procedura prognozowania skażeń .....	41
3.3. Porównanie metod wyznaczania stref skażeń promieniotwórczych .....	43
4. Ocena zagrożenia podczas działania wojsk w terenie skażonym .....	47
4.1. Określanie dawki pochłoniętej podczas przebywania w terenie skażonym .....	49
4.2. Określanie dawki pochłoniętej podczas przekraczania stref skażonych .....	58
4.3. Określanie dopuszczalnego czasu przebywania w terenie skażonym .....	62
4.4. Określanie dopuszczalnego czasu wejścia w teren skażony .....	66
4.5. Określenie dopuszczalnego czasu wyjścia z terenu skażonego .....	68
4.6. Ocena strat w ludziach .....	74
ZAKOŃCZENIE .....	79
SPIS LITERATURY .....	81
SPIS TABEL .....	82
SPIS RYSUNKÓW .....	83

## WPROWADZENIE

Wiek XXI to okres, w którym osiągnięty został wysoki poziom rozwoju, przejawiający się prawie we wszystkich dziedzinach nauki, techniki, gospodarki itp. Niestety nie ominął on także nauk wojskowych i związanego z tym rozwoju technicznego współczesnych środków walki. Nie bez przyczyny wśród broni o największej śmiertelności wymienia się te, które znajdują się w arsenałach broni masowego rażenia czyli broń jądrową, chemiczną i biologiczną. Możliwe kombinacje środków rażenia oraz systemów ich przenoszenia wystawiają na ryzyko zarówno wojska jak i ludność cywilną w dowolnym miejscu i czasie.

Większość państw jest w stanie, w stosunkowo krótkim czasie, rozwinąć ofensywne możliwości wojny NBC poprzez restrukturyzację swojego przemysłu. Dodatkowym problemem jest sprzedaż technologii i utrata kontroli nad bronią masowego rażenia, co znacznie potęguje ryzyko konfliktu prowadzonego z jej użyciem. Fakt ten, wraz z naiwnym nieco przekonaniem, że użycie BMR może przynieść decydujące korzyści militarne i psychologiczne, prowadzić może do niekontrolowanej eskalacji środków masowej zagłady.

Istniejący od niedawna polityczny i militarny podział świata ma na celu zapewnienie pokojowego współistnienia wszystkich państw. Realizacja takiego celu, z oczywistych względów, nie zawsze jest jednak możliwa. Mimo to ewentualne konflikty zbrojne mając zazwyczaj lokalny charakter nie zakładają użycia BMR i jako takie nie stanowią większego zagrożenia dla światowego pokoju.

Zupełnie innym problemem, z którym coraz częściej mamy do czynienia jest terroryzm. Są to działania fanatyków wywodzących się z rozmaitych ekstremalnych ugrupowań paramilitarnych, które mogą być wymierzone w dowolny kraj, miasto, ugrupowanie polityczne lub nawet w pojedynczych ludzi. W tym przypadku trudno jest mówić o jakimkolwiek przewidywaniu zdarzeń. Jak pokazują dotychczasowe

doświadczenia<sup>1</sup> nawet najbardziej futurystyczne scenariusze są możliwe. Także te, które zakładają wykorzystanie broni masowego rażenia.

W obliczu tych zagrożeń oczywista wydaje się konieczność odpowiedniego przygotowania wojsk i ludności cywilnej. Szczególnie ważne jest wypracowanie szczegółowych procedur i zasad postępowania, które już od pierwszych chwil konfliktu pozwolą antycypować prawdopodobny przebieg zdarzeń, zwłaszcza w sytuacji masowych skażeń.

Od wielu już lat zarówno w Wojsku Polskim jak i w NATO wykorzystywane są specjalne metodyki do prognozowania skażeń. Ich treść oraz struktura kształtowały się przez dziesięciolecia, uwzględniając doświadczenia zebrane podczas prób z bronią jądrową, chemiczną i biologiczną. Na tej podstawie można by sądzić, że metodyki te zawierają wiarygodne dane, prawidłowo odwzorowując zachowanie się skażeń w terenie, a także ich wpływ na działanie wojsk i ludności cywilnej. Okazało się jednak, że istniejące procedury prognozowania skażeń nie wszędzie są jednakowe. Szczególnie wyraźnie widać to w przypadku Polski, gdzie do tej pory funkcjonowały metodyki oparte na „szkole radzieckiej”, a obecnie próbuje się adoptować metodyki według standardów zachodnich. Już pobieżne porównanie wspomnianych metodyk prowadzi do wniosku, że nie są one jednakowe, różniąc się w wielu kwestiach.

By sprostać wyzwaniom, które stawia przed nami członkostwo w NATO wydaje się konieczne przyswojenie natowskich procedur prognozowania skażeń, zwłaszcza, że obecnie stosowane nie wydają się być kompatybilne. Na tym etapie, bez dokładnej analizy, nie można jednak w sposób jednoznaczny powiedzieć, które z metod (radzieckie czy natowskie) są lepsze.

Brak kompleksowej analizy porównawczej, dotyczącej stopnia unifikacji metod i procedur prognozowania skażeń promieniotwórczych, sprawia, że istnieje potrzeba naukowego rozpatrzenia tego problemu z uwzględnieniem wszelkich podobieństw i rozbieżności mających wpływ na prawidłowe oszacowanie zagrożeń i stosowną do tego reakcję. Z tego powodu została podjęta próba stworzenia opracowania naukowego na przedstawiony w tytule temat.

---

<sup>1</sup> Akt ataku na World Trade Center i Pentagon jest tego dobitnym przykładem – przypis autora.

Celem opracowania (I część) jest *analiza polskich i natowskich metod prognozowania skażeń promieniotwórczych, wyodrębnienie podobieństw i rozbieżności oraz określenie poziomu ich wzajemnej kompatybilności.*

Ze względu na obszerność tematu oraz pewną odrębność tematyczną analiza metod prognozowania skażeń chemicznych przedstawiona zostanie w osobnym opracowaniu (część II).

Aby osiągnąć wyżej sprecyzowany cel konieczne było określenie problemów badawczych, które sprecyzowano w postaci następujących pytań:

1. Jakie podobieństwa i różnice występują w „radzieckiej” i „natowskiej” metodzie prognozowania skażeń promieniotwórczych?
2. Czy istnieje możliwość „kompilacji” analizowanych metod prognozowania skażeń?
3. Które elementy prognozy skażeń promieniotwórczych mają charakter zasadniczy, a które drugorzędny?
4. Czy w obecnym układzie polityczno – militarnym stosowane dotychczas metody prognozowania skażeń promieniotwórczych utraciły rację bytu?

Tak sprecyzowane pytania stanowiły podstawę do dociekań naukowych i w rezultacie pozwoliły na sformułowanie następującej hipotezy roboczej.

*Zasady prognozowania skażeń promieniotwórczych funkcjonujące w NATO bazują na metodyce ATP-45 i z tej racji są odmienne od zasad dotychczas stosowanych w Polsce i dawnym Układzie Warszawskim. Oprócz ewidentnych rozbieżności w metodach prognozowania skażeń można też wyróżnić wiele podobieństw.*

*Członkostwo Polski w Sojuszu Atlantyckim narzuca w pewien sposób przyjęcie metod prognozowania obowiązujących w NATO, dopuszcza jednak możliwość wykorzystania niektórych metod stosowanych do tej pory, zwłaszcza tych, które rozszerzają i uzupełniają prognozę skażeń.*

Do weryfikacji tej hipotezy autor założył, że analiza wymienionych metod prognozowania będzie miała charakter porównawczy. Zderzenie najważniejszych elementów składających się na prognozę skażeń oraz tych, które mają znaczny na nią wpływ, powinno pozwolić na wyłonienie zasadniczych podobieństw i rozbieżności obu rozpatrywanych metod. Szczególną uwagę zwrócono na kalkulacje takich elementów jak:

- moc wybuchu jądrowego;
- strefy skażeń promieniotwórczych;
- pochłonięte dawki promieniowania (w różnych sytuacjach);
- straty wojsk i ludności cywilnej wskutek napromienienia.

W tym aspekcie oczekiwano odpowiedzi na pytania: które z rozpatrywanych metod są lepsze; które dają bardziej wiarygodne wyniki i jakie są możliwości wykorzystania obu metod łącznie.

O wadze problemu przekonano się już 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.

Dla przykładu można przytoczyć kilka definicji prognozowania:

*„Prognozowanie to naukowe przewidywanie przyszłości, formułowanie sądów o charakterze probabilistycznym, dotyczących możliwych przebiegów i rezultatów obiektywnych procesów”.*<sup>2</sup>

*„Prognoza to przewidywanie oparte na racjonalnych przesłankach, dotyczące przyszłości danego zdarzenia (rozwoju, stanu), mające charakter probabilistyczny o stosunkowo wąskim poziomie ufności, dotyczące określonego horyzontu czasowego”.*<sup>3</sup>

*„Prognoza to twierdzenie o przyszłości pewnego układu, wywnioskowana z opisu parametrów jego stanów i czynników, uzyskanych przy pomocy odpowiednich narzędzi pomiarowych oraz praw podających relacje przyczynowo – skutkowe i relacje następowania po sobie poszczególnych typów stanów, stanowiące opis (odwzorowanie) pewnej określonej całości”.*<sup>4</sup>

Na tej podstawie, dla potrzeb niniejszego opracowania, autor przyjął następującą definicję:

*„Prognozowania skażeń to przewidywanie przyszłego ich stanu i zjawisk im towarzyszącym, poparte odpowiednim aparatem matematycznym, określające*

---

<sup>2</sup> Leksykon Wiedzy Wojskowej, MON, Warszawa 1974, s.333

<sup>3</sup> Słownik Wojskowej Terminologii Ekonomicznej, Warszawa 1976, s.181

<sup>4</sup> Śladkowski S., Moskal E., Metody oceny sytuacji skażeń, AON, Warszawa 2000, s.14

*zależności przyczynowo – skutkowe zachodzących procesów, w bliskim horyzoncie czasowym.*

Od charakteru skażeń zależą możliwości bojowe wojsk oraz zachowanie ludności cywilnej w terenie skażonym. Wynika z tego ogromna ranga prognozowania skażeń, która narzuca zastosowanie najskuteczniejszych, czyli najszybszych i najbardziej wiarygodnych metod określania zagrożenia. Należy przy tym mieć świadomość, że prognozy skażeń nie wykonuje się samych dla siebie, gdyż nie zawsze będą potrzebne. Wykonywanie żmudnych obliczeń i kalkulacji jest niezbędne tylko wtedy, gdy z pewnych względów, żołnierze zostaną zmuszeni do wykonywania zadań w terenie skażonym a dokładne określenie parametrów skażeń pozwoli przewidzieć ewentualne skutki i określić sposoby przeciwdziałania.

Praca składa się z czterech rozdziałów tematycznych.

W rozdziale pierwszym – wprowadzającym – przedstawiono ogólną charakterystykę promieniotwórczego skażenia terenu ze szczególnym uwzględnieniem źródeł skażeń oraz różnorodnych czynników mających zasadniczy wpływ na możliwości działania wojsk w terenie skażonym.

Rozdział drugi traktuje o metodach przygotowywania danych wyjściowych do prognozowania skażeń, a szczególnie o sposobach określania mocy wybuchu jądrowego. Rozważono przy tym skuteczność obu rozpatrywanych metod i ich wzajemną kompatybilność.

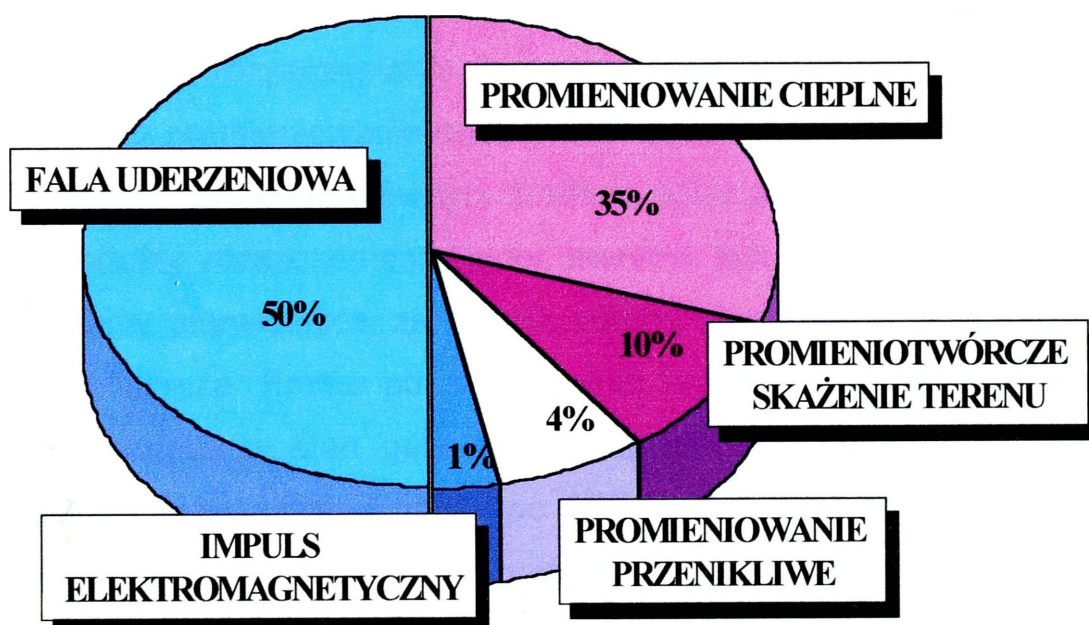
W rozdziale trzecim podjęto próbę interpretacji stref skażeń promieniotwórczych. Ze względu na całkowitą odmienną analizowanych metod przedstawiono dość szczegółową ich charakterystykę wraz z całą procedurą prowadzącą do ich wyznaczenia. Ponadto, bazując na konkretnych przykładach, dokonano szczegółowej analizy porównawczej rozpatrywanych stref, wskazując na wzajemne podobieństwa i rozbieżności.

Rozdział czwarty dość szczegółowo traktuje o prawdopodobnych skutkach działania wojsk w terenie skażonym. Rozpatrywane sytuacje dotyczą przebywania w terenie skażonym i jego przekraczania, przy jednoczesnym unikaniu niepożądanych, ekstremalnych dawek promieniowania. Końcowym rezultatem obliczeń było określenie strat w ludziach. Dodatkowo w kalkulacjach posłużono się konkretnymi przykładami, które po niewielkim retuszu, pozwoliły na bezpośrednie porównanie analizowanych metod prognozowania.

# 1. SKAŻENIA PROMIENIOTWÓRCZE

## 1.1. Zasady ogólne

Broń jądrowa od początku swojego istnienia zajmowała poczesne miejsce w arsenałach bojowych wielu państw. Skutki działania wybuchu jądrowego są bowiem tysiące razy większe od skutków działania największych bomb burzących. Rażące działanie broni jądrowej oparte jest na wykorzystaniu energii wyzwalającej się podczas reakcji jądrowych. Energia ta ma charakter niejednorodny, składając się na pięć czynników rażenia broni jądrowej. Ogólny schemat przedstawiający rozkład energii po wybuchu jądrowym ilustruje rysunek 1.



Rysunek 1 Ogólny podział energii wybuchu jądrowego

Z przedstawionego rysunku wynika, że zasadnicza część energii przypada na falę uderzeniową i promieniowanie cieplne, jednak ich działanie, choć bardzo spektakularne, ogranicza się do krótkiego czasu po wybuchu. Jedynym czynnikiem, którego skutki trwają jeszcze długo po wybuchu jest promieniotwórcze skażenie terenu. 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. Z tego powodu dla zabezpieczenia skutecznych działań bojowych w warunkach użycia broni jądrowej szczególnie ważne znaczenie ma nie tylko umiejętność i systematyczne prowadzenie rozpoznania skażeń promieniotwórczych,

lecz również prawidłowe prognozowanie skażeń, tj. określenie charakteru, stopnia i rozmiarów skażenia terenu. Należy przy tym dodać, iż zarówno rozmiary jak i stopień promieniotwórczego skażenia terenu zależą od szeregu czynników np.: liczby, mocy i rodzaju ładunków jądrowych, czasu jaki upłynął od chwili wybuchu oraz warunków atmosferycznych.

W nomenklaturze zachodniej promieniotwórcze skażenie terenu nosi nazwę „*promieniowania resztkowego*” (residual radiation). Spowodowane jest to faktem, iż promieniowanie to jest emitowane dopiero po minucie od wybuchu. Pomimo rozbieżności w nazwie jest to jednak ten sam czynnik rażenia wybuchu jądrowego, który materializuje się w postaci opadu radioaktywnego (fallout).

Opad radioaktywny ma trzy źródła: niewykorzystana część ładunku rozszczepialnego, produkty rozszczepienia ładunku jądrowego oraz promieniotwórczość wzbudzona przez promieniowanie neutronowe.

Pierwszym i zarazem głównym źródłem powstawania skażeń promieniotwórczych są produkty rozszczepienia jąder atomów ładunku (uranu, plutonu). Są to zazwyczaj atomy pierwiastków ze środka układu okresowego, z których większość jest promieniotwórcza. Krótco po zakończeniu reakcji rozszczepienia wszystkie jej produkty przechodzą w stan gazowy przemieszczając się wraz z kulą ognistą i obłokiem promieniotwórczym. Dopiero po oziębieniu następuje kondensacja najpierw do fazy ciekłej a potem do stałej. Tak powstałe cząstki promieniotwórcze przemieszczają się z wiatrem i opadają pod wpływem ciężkości na ziemię tworząc opad radioaktywny. Jednocześnie emitują podczas rozpadu promieniowanie gamma oraz beta, które może wywoływać porażenia. Zasięg promieniowania beta nie jest jednak duży i z tego względu nie stanowi istotnego problemu. Odwrotnie jednak jest z promieniowaniem gamma, które mając duży zasięg potrafi penetrować organizmy ludzkie. Z tego powodu stanowi największe zagrożenie dla wojsk i ludności cywilnej.

Drugie źródło powstawania skażeń promieniotwórczych to promieniotwórczość wzbudzona (znana często jako NIGA)<sup>5</sup>. Wskutek działania neutronów na jądra atomów różnych pierwiastków znajdujących się w kadłubie bomby, ziemi i innych przedmiotach powstają sztuczne izotopy promieniotwórcze. Spośród pierwiastków znajdujących się w ziemi i uzbrojeniu najbardziej podatne na wychwyty neutronów są jądra atomów sodu, glinu, krzemu, manganu, niklu itd. W wyniku tych reakcji docho-

---

<sup>5</sup> NIGA – Neutron – Induced Gama Activity

dzi także do emisji dużych porcji promieniowania gamma i beta, co jak wiadomo stanowi istotne zagrożenie dla ludzi.

Trzecim i ostatnim źródłem powstawania skażeń promieniotwórczych jest nierozszczepiona część paliwa jądrowego. Uran lub pluton stosowane jako paliwo jądrowe emitują podczas rozpadu promieniowanie alfa. Wiadomo jednak, że jego zasięg wynosi zaledwie kilka centymetrów a możliwość penetracji zatrzymuje pojedyncza kartka papieru. Z tego względu szkodliwość tego źródła skażeń jest niewielka, co powoduje, że nie stanowi istotnego zagrożenia dla wojsk i ludności cywilnej. Elementem niezbędnym do prognozowania skażeń promieniotwórczych jest zebranie odpowiednich informacji o wybuchu oraz ocena sytuacji skażeń. Aby to było możliwe należy posłużyć się odpowiednimi metodykami zawierającymi różnorodne procedury oceny sytuacji skażeń. W sojuszu NATO służy do tego celu jedna metodyka ATP-45<sup>6</sup>, która obejmuje wszystkie niezbędne sytuacje skażeń promieniotwórczych i chemicznych. Zupełnie inaczej, jak dotąd, ma to miejsce w Polsce, gdzie posługujemy się szeregiem metodyk o różnorodnym przeznaczeniu. Są to:

- Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej i chemicznej na podstawie danych z rozpoznania;
- Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie;
- Metodyka prognozowania i oceny strat w rejonach uderzeń jądrowych;

## **1.2. Charakterystyka opadu promieniotwórczego**

### **1.2.1. Fazy opadu promieniotwórczego**

Opad radioaktywny może przyjmować różne rozmiary i charakter. Zależy on głównie od mocy, rodzaju i miejsca wybuchu oraz warunków atmosferycznych.

Zgodnie z metodyką ATP –45 proces wypadania cząstek promieniotwórczych z atmosfery można podzielić na trzy fazy:

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

---

<sup>6</sup> ATP-45 Reporting nuclear detonations, biological and chemical attacks, and predicting and warning of associated hazards and hazards areas

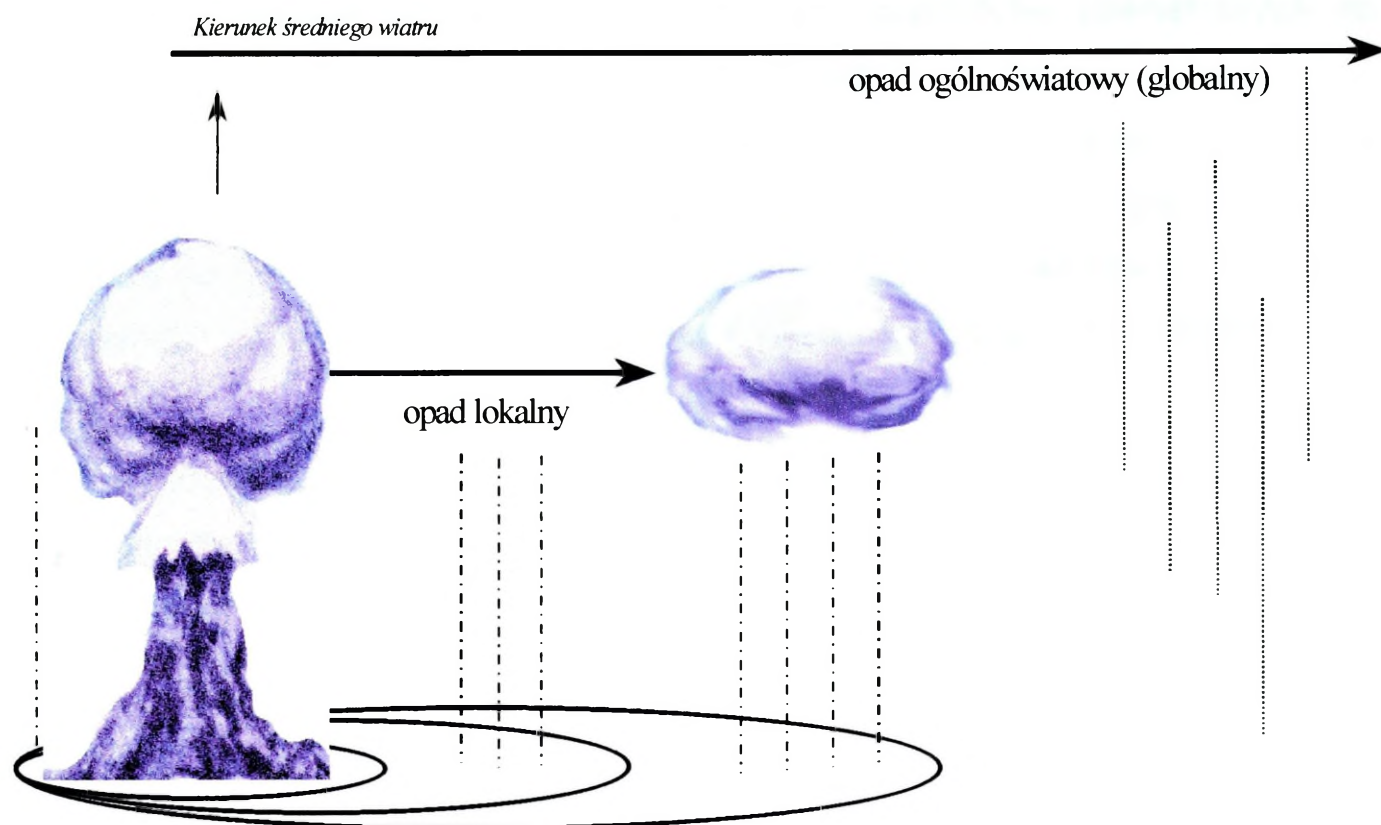
- b) opad średniego zasięgu - cząstki, które osiadają w okresie od pół godziny do dwudziestu godzin po wybuchu jądrowym na obszarze o zasięgu do kilkuset kilometrów od miejsca wybuchu (tylko w przypadku broni jądrowej o równoważniku rzędu megaton);
- c) opad dalekiego zasięgu – wolne wypadanie z atmosfery bardzo małych cząstek, 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 obszarze.

Największe zagrożenie dla ludzi stanowi opad promieniotwórczy średniego zasięgu. Skutki opadu bezpośredniego są zwykle niezauważalne, ze względu na oddziaływanie promieniowania natychmiastowego, fali uderzeniowej wybuchu i promieniowania ciepłego w rejonach wybuchów jądrowych. Natomiast w przypadku opadów dalekiego zasięgu spowodowana nimi dawka promieniowania nie osiąga poziomów istotnych z taktycznego punktu widzenia. Opad promieniotwórczy średniego zasięgu może objąć obszar kilkuset kilometrów kwadratowych i stanowi znaczne zagrożenie. Powinno się zatem unikać przebywania w tym obszarze oraz stosować środki ochronne. Z tego też względu zgodnie z ATP-45 wszelkie odniesienia do terminu „opad promieniotwórczy” będzie oznaczało opad promieniotwórczy średniego zasięgu, chyba że użyte będzie pełne określenie.

Nieco odmienne nazewnictwo funkcjonuje w literaturze polskiej. Uważa się, że w zależności od wielkości cząstek i czasu ich wypadania rozróżnia się następujące rodzaje opadu:

- a) opad lokalny – cząstki pyłu o wymiarach od ułamka milimetra do dziesiątych części mikrometra; czas wypadania rzędu od 20 minut do 24 godzin po wybuchu;
- b) opad kontynentalny (troposferyczny) - cząstki pyłu o wymiarach od 10  $\mu\text{m}$  ułamków mikrometra; czas wypadania rzędu 2 lub 3 tygodnie po wybuchu;
- c) opad globalny (stratosferyczny) – pył o cząstkach rzędu nanometrów; czas wypadania nawet do 5 – 7 lat po wybuchu.

Zazwyczaj opad kontynentalny i globalny określa się nazwą opadu ogólnosięwiatowego. Przedstawia to rysunek 2.



**Rysunek 2 Tworzenie się opadu radioaktywnego**

Zasięgi wypadania cząstek z poszczególnych rodzajów opadu są różne. Zależnie od miejsca i mocy wybuchu opad lokalny może zawierać od 60 do 80% wszystkich produktów rozszczepienia. Opad kontynentalny i globalny mogą wystąpić na obszarach odległych do tysiący kilometrów od punktu zerowego. Z tego względu zagrożenie opadem ogólnościwiatowym w czasie wojny jest nieistotne.

Po analizie przedstawionych informacji, można przyjąć w pewnym uproszczeniu, iż podstawą do prognozowania skażeń będzie z jednej strony opad średniego zasięgu, z drugiej zaś opad lokalny. Jeden i drugi ma podobny skład i dotyczy tego samego okresu po wybuchu.

Skład substancji promieniotwórczych, opadających z obłoku wybuchu jądrowego, jest skomplikowaną mieszaniną, w której rozpad każdego rodzaju izotopów promieniotwórczych podlega ściśle ustalonemu prawu. Na skutek samorzutnego rozpadu promieniotwórczego moc dawki promieniowania w rejonie wybuchu i na śladzie obłoku stale maleje.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Proces ten przebiega szczególnie szybko w ciągu pierwszych godzin po wybuchu. Przyjmuje się, że moc dawki promieniowania po 7 godzinach maleje dziesięciokrotnie, a po 49 godzinach stokrotnie.

### 1.2.2. Wpływ wysokości wybuchu oraz czynników zewnętrznych na charakter opadu promieniotwórczego

Wysokość wybuchu jądrowego to obok mocy jeden z najistotniejszych czynników wpływających na skalę zagrożenia opadem promieniotwórczym. Znaczenie wojskowe ma tylko opad po wybuchu, którego kula ognista dotyka powierzchni ziemi. Gdy wybuch jądrowy wykonany jest na dużej wysokości, opad promieniotwórczy nie występuje.<sup>8</sup>

Największe skażenie terenu występuje przy podziemnych i naziemnych wybuchach jądrowych. Przy wybuchu naziemnym powstaje obłok promieniotwórczy a ponadto następuje aktywacja otoczenia neutronami.

Należy zaznaczyć, że wysokość wybuchu jest ściśle związana z mocą ładunku jądrowego. Wynika to z faktu, iż ładunek dużej mocy zdetonowany na znacznej wysokości może być wybuchem naziemnym (kula ognista styka się z ziemią), natomiast ładunek o małej mocy zdetonowany niżej może być wybuchem powietrznym (kula ognista nie zetknie się z ziemią). W polskich metodykach do dokładnej prognozy stosuje się termin „zredukowana wysokość wybuchu”. Uwzględnia on zarówno moc wybuchu w tonach jak i jego wysokość liczoną w metrach. W obliczeniach praktycznych za wysokość niskiego wybuchu powietrznego przyjmuje się  $H=7\sqrt[3]{q}$ , wysokiego  $H=12\sqrt[3]{q}$  lub  $H=20\sqrt[3]{q}$  oraz naziemnego  $H=0$ .

Przy wybuchach podwodnych największe zagrożenie promieniotwórcze występuje u podstawy wału wodnego (miejscu wzniesienia wody). Wybuch powoduje powstanie mglistego, silnie promieniotwórczego obłoku drobnych cząsteczek wody, przemieszczających się szybko na odległość od 2 do 4 mil morskich od miejsca wybuchu. Ogólnie przyjmuje się, że znaczne zagrożenie wywołane skażeniem promieniotwórczym będzie istniało w ciągu pierwszych 5 do 10 min., a w ciągu następnych 30 min. nastąpi spadek aktywności do poziomu bezpiecznego.

Do czynników atmosferycznych, które mają istotny wpływ na rozmiary i stopień skażenia promieniotwórczego zalicza się kierunek i prędkość średniego

---

<sup>8</sup> Opad promieniotwórczy występuje w znikomej postaci lecz nie ma żadnego znaczenia taktycznego – przypis autora.

wiatru.<sup>9</sup> Inne czynniki, np.: opady mają mniejszy wpływ na kształt i zachowanie się skażenia, podobnie zresztą jak i teren (zwłaszcza górzysty i pagórkowaty).

Skażenie opadem promieniotwórczym wielkich obszarów w istotny sposób komplikuje sytuację operacyjną. Potencjalnie, opad promieniotwórczy może mieć większy zasięg i wywołać więcej strat w ludziach niż jakakolwiek inna broń. Skażenia powstałe z tego powodu wywierają znaczny wpływ na pole walki jeszcze długo po wybuchu.

### **1.3. Skażenia spowodowane promieniowaniem wzbudzonym**

W poprzednich rozdziałach wspomniano, że w wyniku naziemnego wybuchu jądrowego następuje aktywacja otoczenia neutronami. W wyniku tego powstaje tzw. aktywność wtórna, która jest jednym z istotnych źródeł skażeń promieniotwórczych w rejonie wybuchu jądrowego.

Polskie metodyki nie zawierają żadnych informacji na ten temat toteż dalsze rozważania bazują na natowskiej metodyce ATP – 45.

Wiadomo już, że przy wszystkich wybuchach jądrowych uwalniane są neutrony. Część z nich może być przechwycona 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. Cząstki beta nie powodują znaczącego zagrożenia pod warunkiem, że nie mają przez długi czas bezpośredniego kontaktu ze skórą. W przeciwnym razie cząstki beta mogą wywołać podrażnienia skóry od zaczerwienienia do otwartych ran. Promieniowanie gamma natomiast łatwo przenika przez ciało i może wywołać chorobę popromienną lub nawet śmierć.

Lokalizację obszaru prawdopodobnego promieniowania wtórnego po wybuchach powietrznych określa się na podstawie danych o wybuchu jądrowym. Warunki pogodowe nie mają wpływu ani na lokalizację ani na wielkość obszaru jego występowania. Również wiatry w przyziemnych warstwach powietrza nie będą wpływały na jego rozkład. Obszar ten będzie występował zawsze wokół punktu zerowego (GZ).

---

<sup>9</sup> W polskich metodykach wiatrem średnim nazywa się wiatr, którego prędkość i kierunek są średnią dla wszystkich warstw atmosfery do wysokości wzniesienia się obłoku promieniotwórczego; w ATP-45 wiatr ten nosi nazwę wiatru skutecznego – przypis autora.

Wielkość rejonu zależy od mocy i wysokości wybuchu. Tabela 1 zawiera granice obszaru wzbudzonego promieniowaniem neutronowym dla wybuchów o różnej mocy.

Tabela 1

**Promienie obszaru skażenia wywołanego promieniowaniem neutronowym**

Szacunkowa moc ładunku [Gg]	Promień rejonu, na granicy którego moc dawki wynosi 2 cGy/h w godzinę po wybuchu [m]
0,1	200
1	700
10	1000
100	1600
1000	2000

Źródło: ATP-45

Obszar o promieniu podanym w tabeli wokół punktu GZ jest uznawany za skażony, aż do momentu, gdy pomiary mocy dawki wykażą brak skażeń. Faktyczny obszar skażenia zależy od wysokości i mocy wybuchu, i jest zwykle znacznie mniejszy.

Opad promieniotwórczy gromadzi się na powierzchni, podczas gdy gleba wokół punktu zerowego jest radioaktywna do głębokości 0,5 metra. Wynika stąd wniosek, że likwidacja skażeń w tym rejonie jest nieefektywna.

Charakterystyka spadku natężenia promieniowania wzbudzonego znacznie różni się od charakterystyki rozpadu cząstek wchodzących w skład opadu promieniotwórczego. Opad to mieszanka wielu substancji, z których każda ma inną stałą rozpadu, natomiast promieniowanie wtórne powstaje głównie poprzez aktywację aluminium, manganu i sodu. Inne pierwiastki, takie jak krzem, emitują małą ilość promieniowania gamma a ich radioaktywność spada tak szybko, że ich obecność nie ma większego wpływu na skażenie.

W ciągu pierwszych 30 min. po wybuchu, głównym źródłem promieniowania wtórnego jest radioaktywny glin, który wchodzi w skład prawie wszystkich gleb. Jest to jeden z najobficiej występujących pierwiastków w skorupie ziemskiej. Czas połowicznego rozpadu promieniotwórczego glinu wynosi od 2 s do 3 s. W związku z tym, w ciągu 30 min. po wybuchu większość promieniotwórczego glinu ulegnie całkowitemu rozpadowi.

Większość gleb zawiera też duże ilości manganu. Pierwiastek ten ma czas połowicznego rozpadu około 2,6 godziny. W okresie od 30 minut do 10 – 20 godzin po

wybuchu stanowi on główne źródło promieniowania wtórnego na równi z sodem. Gdy mija 10 – 20 godzin po wybuchu, głównym źródłem promieniowania wtórnego pozostaje sód, którego czas połowicznego rozpadu wynosi około 15 godzin.

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na efekty wzbudzenia promieniowaniem neutronowym jest skład gleby. Spadek promieniowania wzbudzonego powinien być rozważany w inny sposób niż rozpad opadu promieniotwórczego. Do obliczenia rozpadu opadu promieniotwórczego stosuje się równanie Kaufmana. W przypadku promieniowania wtórnego, stałą rozpadu determinuje procent wagowy pierwiastków obecnych w glebie.

W celu określenia współczynnika rozpadu substancji zaktywowanych promieniowaniem neutronowym, należy znać skład chemiczny gleby. Dla uproszczenia obliczeń spadku aktywności wtórnej, wszystkie gleby podzielono na cztery grupy. Przedstawia to tabela 2.

Tabela 2

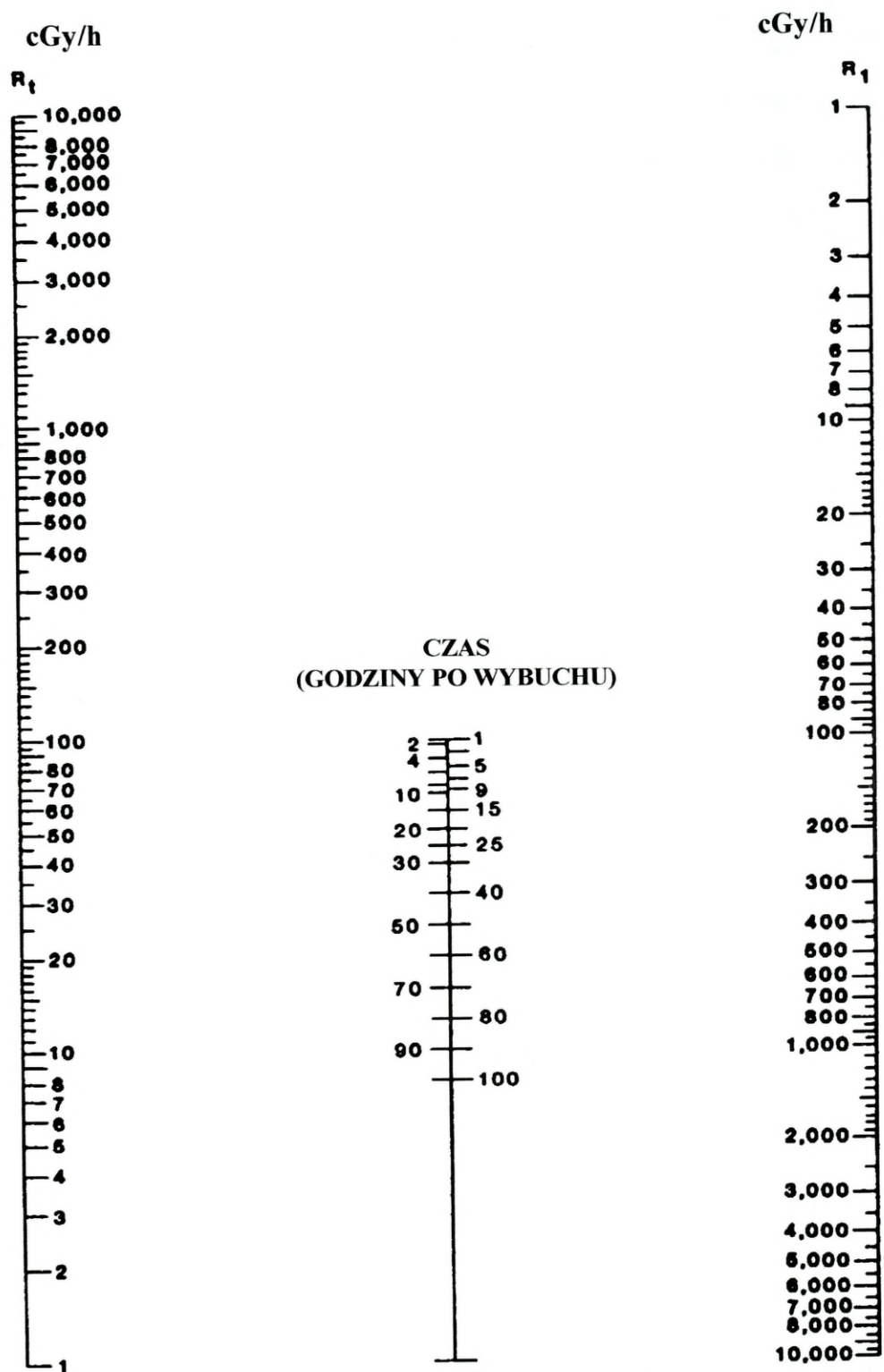
Typy gleby w zależności od jej składu chemicznego

Pierwiastek	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
Sód	-	1,30	0,16	0,001
Mangan	0,008	0,01	2,94	-
Aluminium	2,89	6,70	18,76	0,006
Żelazo	3,75	2,20	10,64	0,005
Krzem	33,10	32,00	10,23	46,65
Tytan	0,39	0,27	1,26	0,004
Wapń	0,08	2,40	0,45	-
Potas	-	2,70	0,88	-
Wodór	0,039	0,70	0,94	0,001
Bor	-	-	-	0,001
Azot	0,065	-	0,26	-
Siarka	0,07	0,03	0,26	-
Magnez	0,05	0,60	0,34	-
Chrom	-	-	0,04	-
Fosfor	0,008	0,04	0,13	-
Węgiel	3,87	-	9,36	-
Tlen	50,33	50,82	43,32	53,332

Źródło: ATP-45

Ponieważ dokładny skład gleby z reguły nie jest znany, jako podstawę do obliczeń przyjmuje się glebę typu II o najwolniejszym rozpadzie, aż do czasu gdy ośrodek analizy skażeń nie wyda polecenia przyjęcia innego typu gleby.

Przed określeniem całkowitej dawki należy obliczyć spadek mocy dawki. Do tego celu wykorzystuje się nomogramy rozpadu promieniowania wtórnego. Przykład takiego nomogramu dla gleby typu II przedstawiono na rysunku 3. Pozwalają one



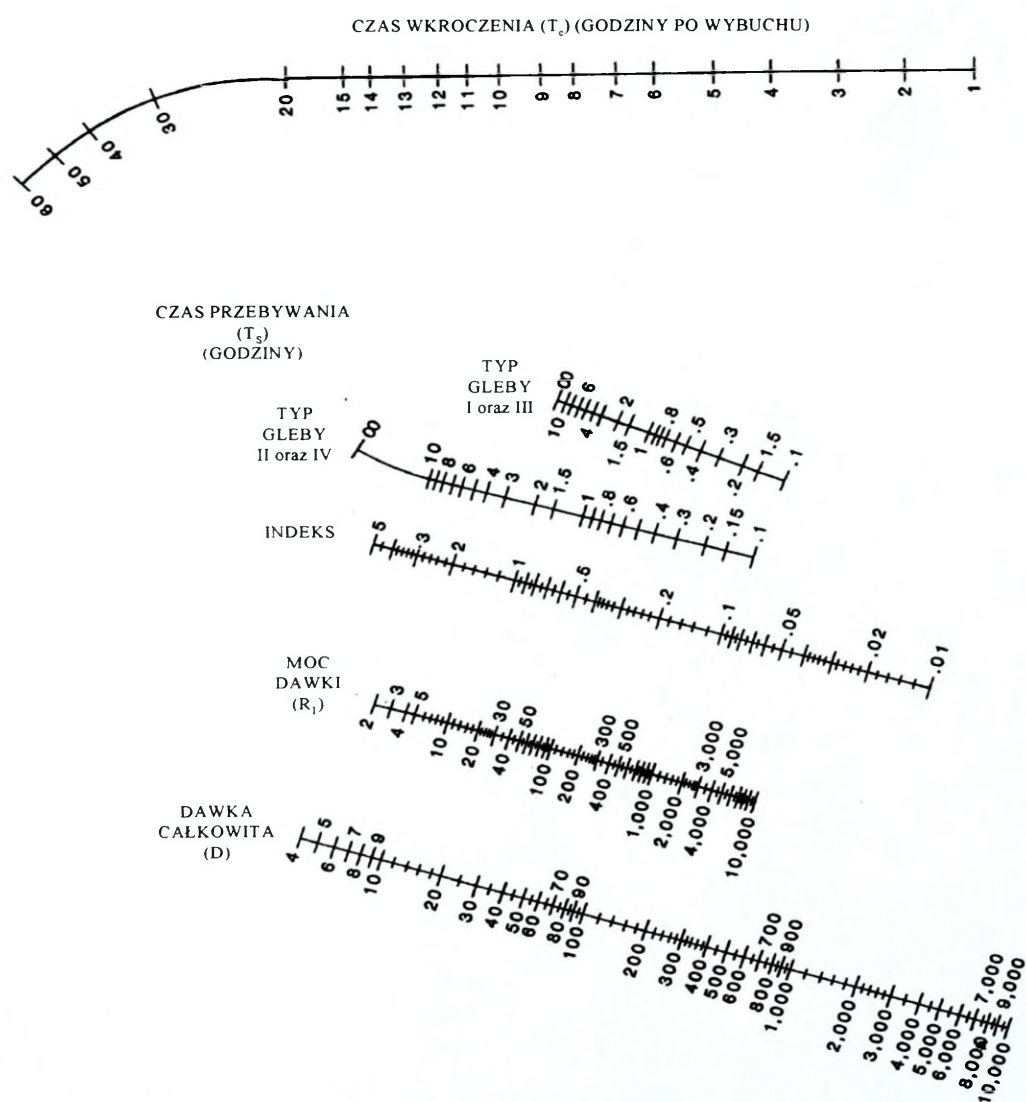
**Rysunek 3 Nomogram do określania spadku radioaktywności wzbudzonej (typ gleby II)**

użytkownikowi prognozować moc dawki w dowolnym momencie po wybuchu. Na każdym nomogramie podany jest czas (w godzinach) po wybuchu dla jednego

z czterech typów gleby oraz skala  $R_1$  umieszczona po prawej stronie pokazująca moc dawki w  $H+1$ . Umieszczona po lewej stronie skala  $R_t$  oznacza moc dawki po czasie  $t$ .

Do odczytania mocy dawki  $R_1$  dla czasu  $H+1$  z nomogramu promieniowania wtórnego wykorzystuje się zmierzoną moc dawki i czas pomiaru. Otrzymuje moc dawki. Jeśli w innych meldunkach moc dawki i czasy pomiaru dają zbieżne z nomogramem rezultaty, to oznacza, że typ gleby został wybrany właściwie. Jeśli nie, to należy posłużyć się nomogramami dla innego typu gleby, aż do momentu, gdy uzyska się wartość  $R_1$ .

W celu określenia całkowitej dawki pochłoniętej w terenie skażonym na skutek aktywacji promieniowaniem neutronowym stosuje się nomogram przedstawiony na rysunku 4. Nomogram ten określa wzajemne powiązania między całkowitą dawką



**Rysunek 4** Nomogram do określania całkowitej dawki pochłoniętej w obszarze występowania promieniowania wtórnego

pochłoniętą, mocą dawki w  $H+1$ , czasem przebywania i czasem wejścia. Dwie skale po lewej stronie linii odniesienia pokazują całkowitą dawkę pochłoniętą i moc dawki w  $H+1$ . Na prawo od skali odniesienia znajdują się dwie skale czasu przebywania. Najbardziej wysunięta na prawo jest skala czasu wejścia. Linia odniesienia jest osią, którą stosuje się jako etap pośredni pomiędzy  $D$  i  $R_1$ , a  $R_1$  otrzymuje się, stosując jeden z nomogramów promieniowania wtórnego. Jeśli typ gleby jest nieznany, należy przyjąć, że gleba jest typu II.

W przypadku pokonywania rejonu występowania promieniowania wtórnego, należy wybierać drogi o najniższych poziomach promieniowania.

## 2. OKREŚLANIE PARAMETRÓW WYBUCHU JĄDROWEGO

Zasadniczym problemem, który każdorazowo wymaga rozwiązania jest ustalenie w miarę wiarygodnych parametrów wybuchu jądrowego, szczególnie zaś jego mocy i miejsca wybuchu. Dodatkowo należy określić: rodzaj i czas wybuchu oraz kierunek i prędkość średniego wiatru. Do zbierania tego typu informacji przeznaczony jest system wykrywania skażeń.

Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na charakter skażeń jest moc wybuchu jądrowego. Dokładne określenie tego parametru nie jest możliwe<sup>10</sup> toteż wykorzystuje się do tego szereg metod, które w sposób w miarę wiarygodny pozwalają na jego obliczenie. Wykorzystuje się przy tym: wysokość i szerokość kątową obłoku promieniotwórczego, czas kształtowania się obłoku oraz czas przemieszczania się fali dźwiękowej.

### 2.1. Określanie mocy wybuchu jądrowego według dotychczasowych metod

W Wojsku Polskim stosowane były dotychczas trzy metody określania mocy wybuchu jądrowego. Moc określano na podstawie:

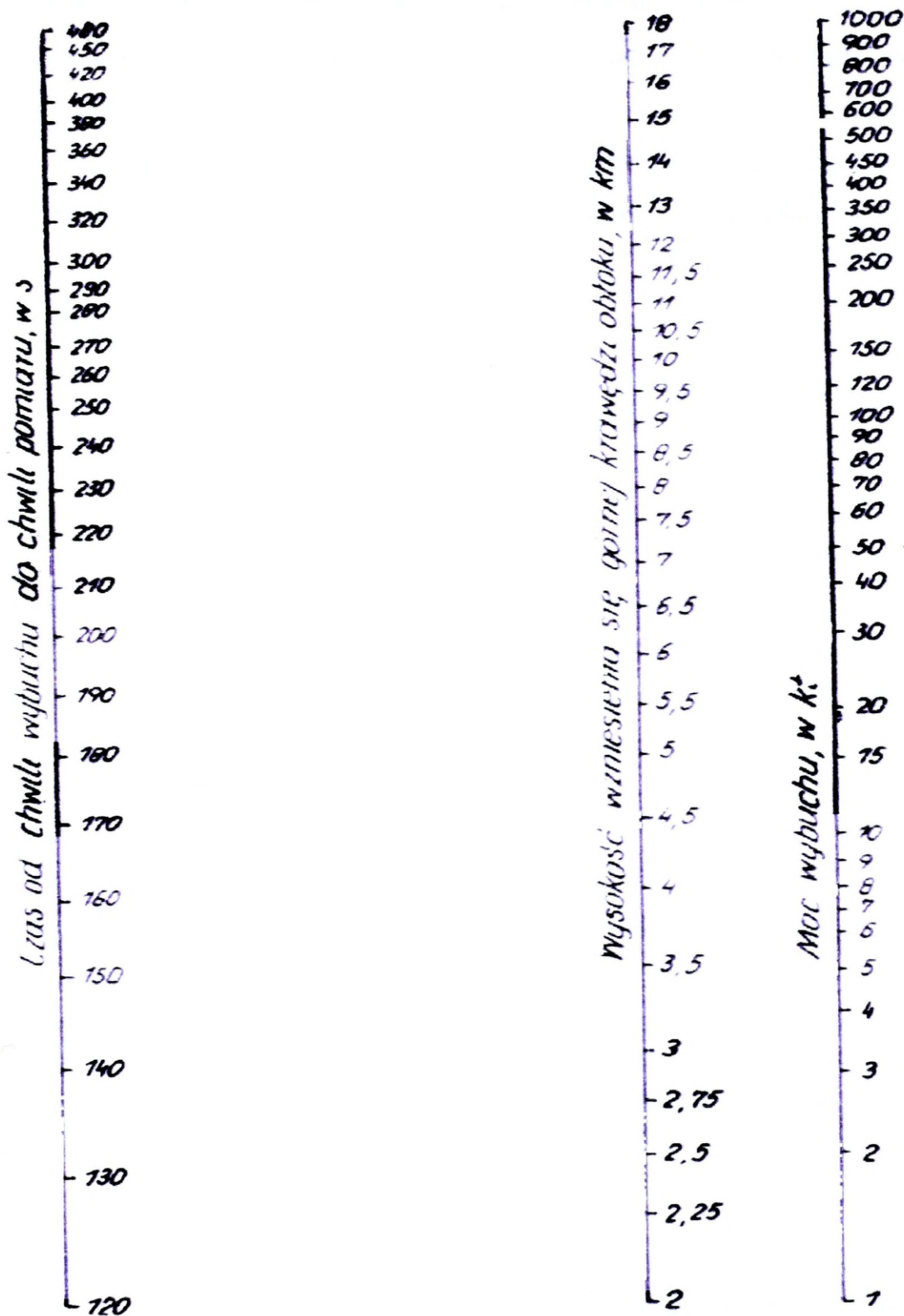
- wysokości kątowej wzniesienia się obłoku i czasu wznoszenia się na tą wysokość;
- wysokości kątowej ukształtowanego obłoku promieniotwórczego;
- szerokości kątowej czaszy ukształtowanego obłoku promieniotwórczego.<sup>11</sup>

Sposobem podstawowym było określanie mocy wybuchów jądrowych na podstawie wysokości kątowej obłoku, zmierzonej w czasie jego wznoszenia się i czasu od chwili wybuchu do chwili pomiaru. Do tego celu służył specjalny nomogram przedstawiony na rysunku 5.

---

<sup>10</sup> Bywało, że nawet państwa, które wykonywały próbne eksplozje jądrowe nie były w stanie dokładnie określić jaka była moc bomby – przypis autora.

<sup>11</sup> Zob. Instrukcja o działaniu posterunków podczas obserwacji wybuchów jądrowych i wykrywania skażeń, MON 1977, s.17.



**Rysunek 5 Nomogram do określania mocy wybuchu jądrowego metodą „polską”**

Jeżeli wybuch wykonany był w dużej odległości od posterunku to moc wybuchu określało się na podstawie ukształtowanego obłoku promieniotwórczego. Służyły do tego celu specjalne tabele, w których po podstawieniu czasu przejścia fali uderzeniowej oraz wysokości lub szerokości kątowej wybuchu określano moc wybuchu.

## 2.2. Określanie mocy wybuchu jądrowego według ATP-45

Podobnie jak w poprzedniej metodzie ocenę mocy wybuchu jądrowego wykonuje się na podstawie wyników obserwacji, zawartych w meldunku obserwatora o uderzeniu jądrowym (NBC 1 NUC)<sup>12</sup>. Obserwator powinien przekazać w meldunku możliwie najwięcej danych, które mogą być następnie uzupełniane w dalszych meldunkach:

- linia BRAVO - położenie obserwatora;
- linia CHARLIE - kierunek od obserwatora do miejsca uderzenia;
- linia DELTA - data i godzina wybuchu;
- linia HOTEL - rodzaj wybuchu;
- linia JULIET - czas od błysku do usłyszenia dźwięku wybuchu;
- linia LIMA - szerokość kątowna obłoku promieniotwórczego powstałego w wyniku eksplozji jądrowej (mierzona pięć minut po wybuchu);
- linia MIKE - wysokość kątowną wzniesienia się górnej i/lub dolnej krawędzi ukształtowanego obłoku promieniotwórczego (mierzone dziesięć minut po wybuchu).

Moc wybuchu można szacunkowo określić na podstawie informacji zawartych w liniach J, L i M, stanowiących dane wyjściowe do posługiwania się specjalnymi nomogramami. Istnieją trzy sposoby określania mocy wybuchu jądrowego, z których najdokładniejsza jest pierwsza. Są to metody wykorzystujące:

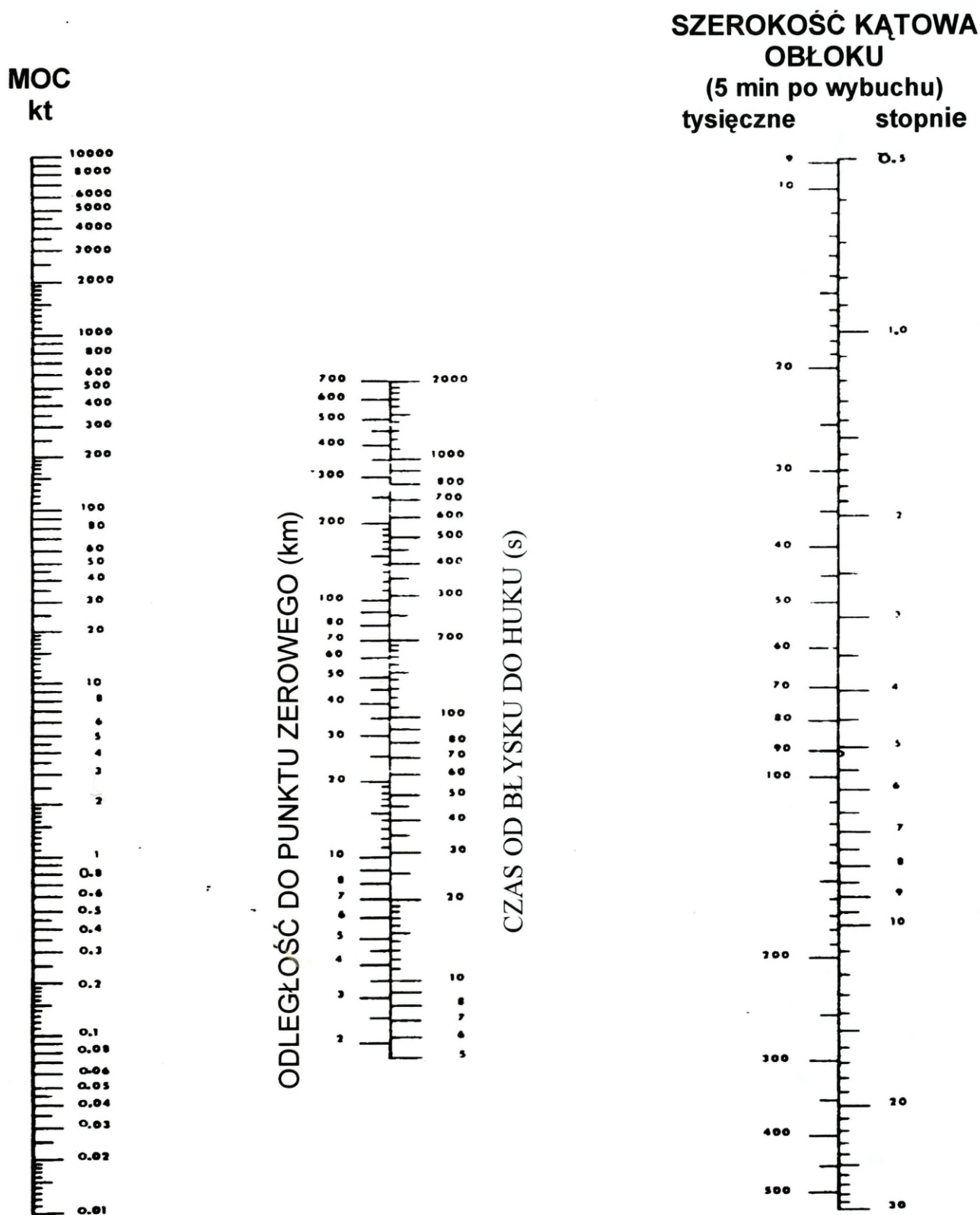
1. czas od błysku do usłyszenia dźwięku i szerokość kątowną obłoku (rysunek 6);
2. czas od błysku do usłyszenia dźwięku wybuchu i wysokość kątowną wzniesienia się górnej lub dolnej krawędzi ukształtowanego obłoku promieniotwórczego (rysunek 7) (tylko dla wybuchów naziemnych i nieznanych);
3. wysokość górnej i/lub dolnej krawędzi ustabilizowanego obłoku (rysunek 8) (tylko dla wybuchów naziemnych i nieznanych).

---

<sup>12</sup> Do podstawowych meldunków NBC w NATO należą meldunki:

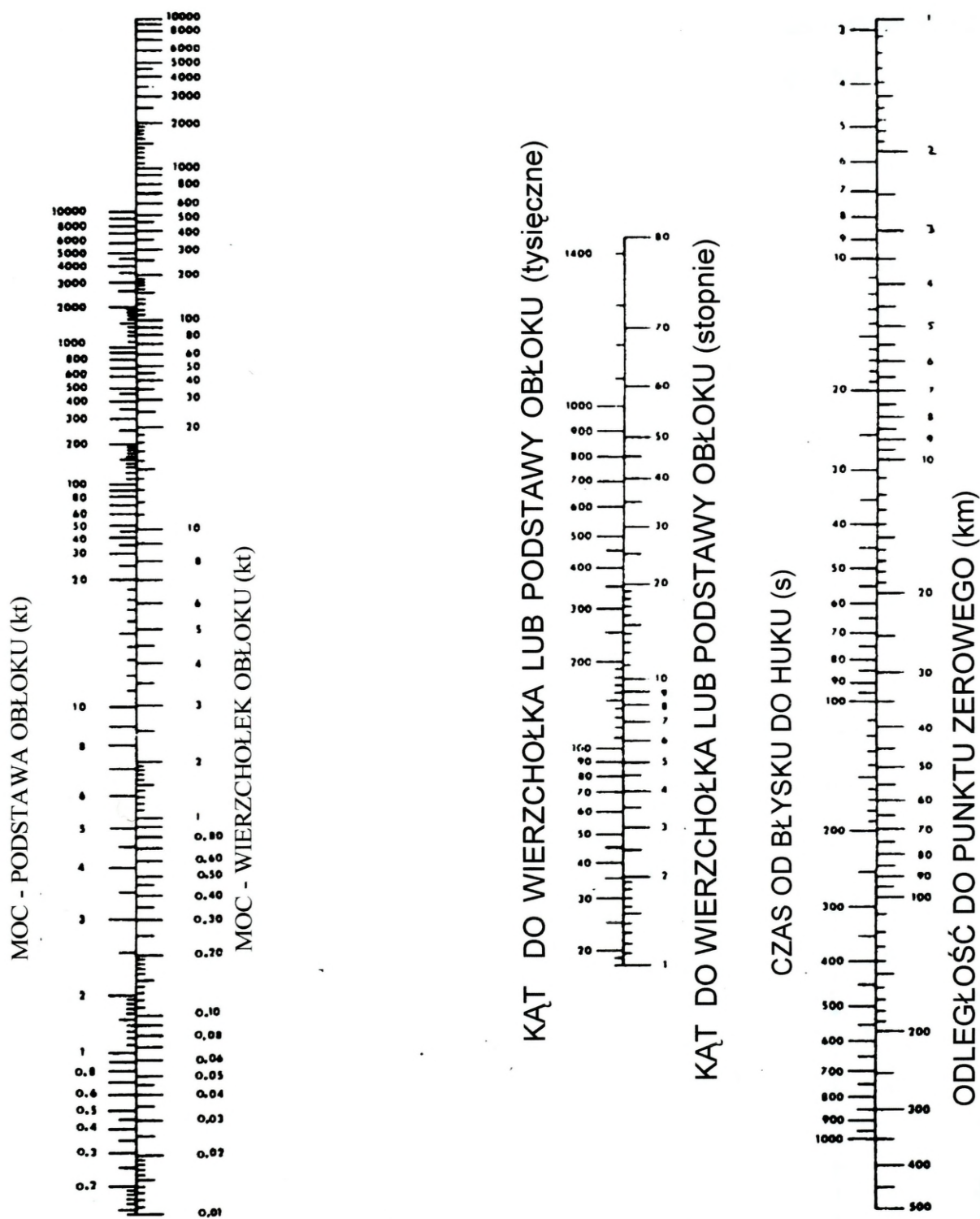
NBC 1 - zawierający podstawowe dane o uderzeniach BMR;  
NBC 2 - zawierający dane o uderzeniach BMR poddane wstępnej ocenie /zweryfikowane/;  
NBC 3 - zawierający dane o prognozowanych obszarach skażeń  
NBC 4 - meldunek zawierający dane z rozpoznania skażeń;  
NBC 5 - meldunek zawierający dane o rzeczywistych strefach skażeń;  
NBC 6 - meldunek zawierający szczegółowe dane o atakach chemicznych i biologicznych;  
NBC SITREP - meldunek zawierający dodatkowe informacje o sytuacji skażeń (opisowy).

Gdy znana jest odległość obserwatora od punktu zerowego wybuchu jądrowego lub czas od błysku do usłyszenia odgłosu wybuchu i szerokość kątowna obłoku promieniotwórczego powstałego wskutek wybuchu jądrowego (mierzona pięć minut po wybuchu), należy skorzystać z nomogramu przedstawionego na rysunku 6.



Rysunek 6 Określanie mocy wybuchu jądrowego na podstawie szerokości kątowej obłoku i czasu przejścia fali uderzeniowej

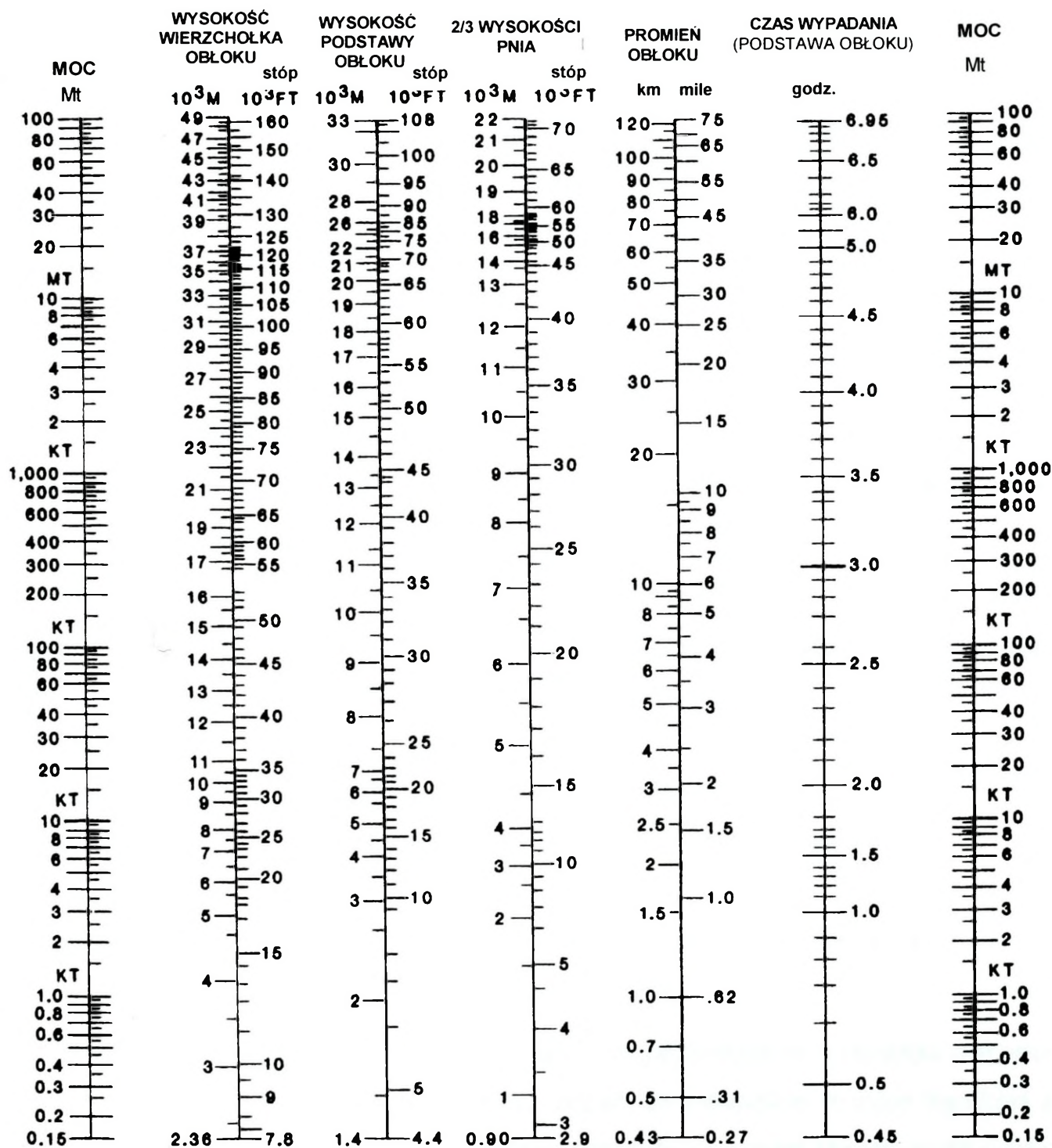
Gdy z kolei znana jest odległość obserwatora od punktu zerowego wybuchu jądrowego lub czas od błysku do usłyszenia odgłosu wybuchu oraz kąt wzniesienia dolnej lub górnej krawędzi obłoku promieniotwórczego, należy skorzystać z nomogramu przedstawionego na rysunku 7.



**Rysunek 7 Określanie mocy wybuchu na podstawie kąta wzniesienia wierzchołka lub podstawy obłoku i czasu, który upłynął od błysku do usłyszenia fali dźwiękowej / odległości do punktu zerowego**

Gdy znana jest dokładna odległość od obserwatora do punktu zerowego wybuchu, to posługując się nomogramami (patrz rys. 6, rys. 7) zamiast czasu od błysku do usłyszenia dźwięku wybuchu, powinno się zastosować tę odległość.

Gdy znana jest wysokość wzniesienia wierzchołka lub podstawy obłoku promieniotwórczego (mierzona 10 minut po wybuchu), stosuje się nomogram przedstawiony na rysunku 8. Jeśli dostępne są obie wysokości i nie dają one w odczycie takiej samej wielkości mocy wybuchu, należy wybrać wartość większą.



Rysunek 8 Parametry ustabilizowanego słupa i obłoku promieniotwórczego (ustabilizowane w H+10 min)

### 2.3. Porównanie istniejących metod określania mocy wybuchu

Już z pobieżnej analizy przedstawionych metod wynika, że niektóre z nich oparte są na podobnych zasadach. Szczególnie dwie pierwsze zarówno w metodzie polskiej jak i natowskiej wydają się podobne. Dla lepszego porównania posłużymy się przykładami.

*Metoda 1. Określanie mocy wybuchu jądrowego na podstawie czasu od błysku do usłyszenia odgłosu wybuchu i szerokości kątowej obłoku promieniotwórczego.*

Dane:

- czas od błysku do usłyszenia odgłosu wybuchu: 60 sekund
- szerokość kątowa obłoku promieniotwórczego: 280 tysięcznych

Wyniki:

*NATO* - Z nomogramu na rysunku 6 określa się wielkość ładunku jako 50 kt.

*Polska* - Z odpowiedniej tabeli odczytujemy wynik 30 kt.

Różnica 20 kt wynika z nieco innego czasu pomiaru. W metodzie natowskiej pomiaru dokonuje się po 5 minutach od wybuchu, natomiast w metodzie polskiej dopiero po ukształtowaniu się obłoku (w tym przypadku około 10 minut). Należy sądzić, że po tym czasie szerokość kątowa wyniosła by około 320 tysięcznych, co dałoby moc wybuchu 50 kt, taką samą jak w NATO.

*Metoda 2. Określanie mocy wybuchu jądrowego na podstawie czasu, który upłynął od momentu zauważenia błysku do usłyszenia dźwięku wybuchu i kąta wzniesienia górnej krawędzi obłoku promieniotwórczego.*

Dane:

- czas od błysku do usłyszenia dźwięku wybuchu: 60 sekund;
- kąt wzniesienia wierzchołka obłoku promieniotwórczego: 30 stopni.

Wyniki:

*NATO* - Z nomogramu na rysunku 7 określa się wielkość ładunku jako 43 kt.

*Polska* - Z odpowiedniej tabeli odczytujemy wynik 50 kt.

W tym przypadku, zarówno w jednej jak i drugiej metodzie, pomiarów dokonuje się 10 minut po wybuchu. Można przypuszczać, że niewielkie różnice wynikają z odmiennego sposobu odczytywania wyników (raz tabela, innym razem nomogram). Wydają się przy tym, że odczyt z nomogramów obarczony będzie większym błędem niż w przypadku tabel.

Trzecie sposoby określania mocy wybuchu jądrowego różnią się od siebie diametralnie. Sposób natowski dotyczy bowiem ustabilizowanego obłoku, natomiast w sposobie polskim można obliczyć moc wybuchu w trakcie wznoszenia się obłoku.

Przykład metody natowskiej:

*Określanie mocy wybuchu jądrowego na podstawie wysokości wzniesienia wierzchołka lub podstawy ustabilizowanego obłoku promieniotwórczego.*

Dane:

- wysokość wzniesienia się wierzchołka obłoku promieniotwórczego: 12200 metrów;
- wysokość wzniesienia się podstawy obłoku promieniotwórczego: 8300 metrów.

Na podstawie nomogramu przedstawionego na rysunku 8 odczytać wielkość mocy wybuchu dla 12200 metrów (wierzchołek obłoku) - 40 kt oraz dla 8300 metrów (podstawa obłoku) - 50 kt. Należy przy tym przyjąć wielkość większą.

Przykład metody polskiej:

*Określanie mocy wybuchu jądrowego na podstawie wysokości kątowej wzniesienia się obłoku i czasu wznoszenia się na tą wysokość.*

Dane:

- wysokość kątowa wzniesienia się wierzchołka obłoku promieniotwórczego:  $23^\circ$ ;
- wysokość kątowa wzniesienia się podstawy obłoku promieniotwórczego:  $8^\circ$ ;
- czas od błysku do usłyszenia dźwięku wybuchu: 54 s;
- czas wznoszenia się obłoku na tą wysokość 150 s.

Na początek obliczamy odległość od wybuchu:  $54/3 = 18$  km; następnie wysokość kątową obłoku:  $23^\circ - 8^\circ = 15^\circ$ . Na podstawie odległości od wybuchu i wysokości kątowej w odpowiedniej tabeli odczytuje się wysokość wzniesienia się obłoku w kilometrach = 4,8 km. Ostatnim krokiem jest odczytanie mocy wybuchu z nomogramu przedstawionego na rysunku 5. Moc wybuchu wynosi 20 kt.

Z przedstawionych wyżej przykładów wynika, że obok dwóch bardzo podobnych metod obliczania mocy wybuchu jądrowego, zachowały się metody nie mające swych odpowiedników. Warto także zwrócić uwagę na fakt iż główną metodą obliczeń w NATO jest metoda pierwsza (*na podstawie szerokości kątowej*), natomiast w Polsce najważniejsza jest metoda trzecia (*na podstawie wysokości kątowej wzniesienia się obłoku i czasu wznoszenia się na tą wysokość*). Mimo to, ze względu na szacunkowy charakter opisanych metod wszystkie one zachowują swoją przydatność, zwłaszcza, że różnice w wynikach końcowych nie są zbyt wielkie.

### 3. OKREŚLANIE PARAMETRÓW STREF SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH

Rażące działanie promieniotwórczego skażenia terenu określa się głównie na podstawie zewnętrznego napromienienia. Dlatego też oddziaływanie promieniotwórczego skażenia terenu charakteryzuje dawka promieniowania pochłonięta w czasie przebywania w skażonych rejonach. W zależności od stopnia skażenia i skutków napromienienia teren skażony dzieli się na tzw. strefy skażeń. Ich ilość, rozmiar i charakter zależy od przyjętej metodyki. Zgodnie z ATP-45 występują dwie strefy skażeń, natomiast w metodyce polskiej są cztery.

#### 3.1. Polska metoda wyznaczania stref skażeń promieniotwórczych

Zgodnie z metodyką oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie wyznacza się cztery strefy skażeń. Są to:

- strefa A (umiarkowanego skażenia);
- strefa B (silnego skażenia);
- strefa C (niebezpiecznego skażenia);
- strefa D (szczególnie niebezpiecznego skażenia).

Poszczególne strefy charakteryzuje dawka promieniowania, którą można pochłonąć w czasie całkowitego rozpadu substancji promieniotwórczych. Wynosi ona w zależności od strefy od 40 cGy w strefie A do około 7000 cGy w środku strefy D.

W strefie A w ciągu pierwszych dni nie ukryci żołnierze mogą otrzymać dawki powodujące utratę zdolności bojowej. Działając jednak w samochodach i transporterach opancerzonych a także w okopach, rowach i transzejach żołnierze nie pochłoną dawek powodujących utratę zdolności bojowej. Dawka promieniowania w tej strefie kształtuje się od 40 cGy do 400 cGy. Poza granicą tej strefy utrata zdolności bojowej jest wykluczona.

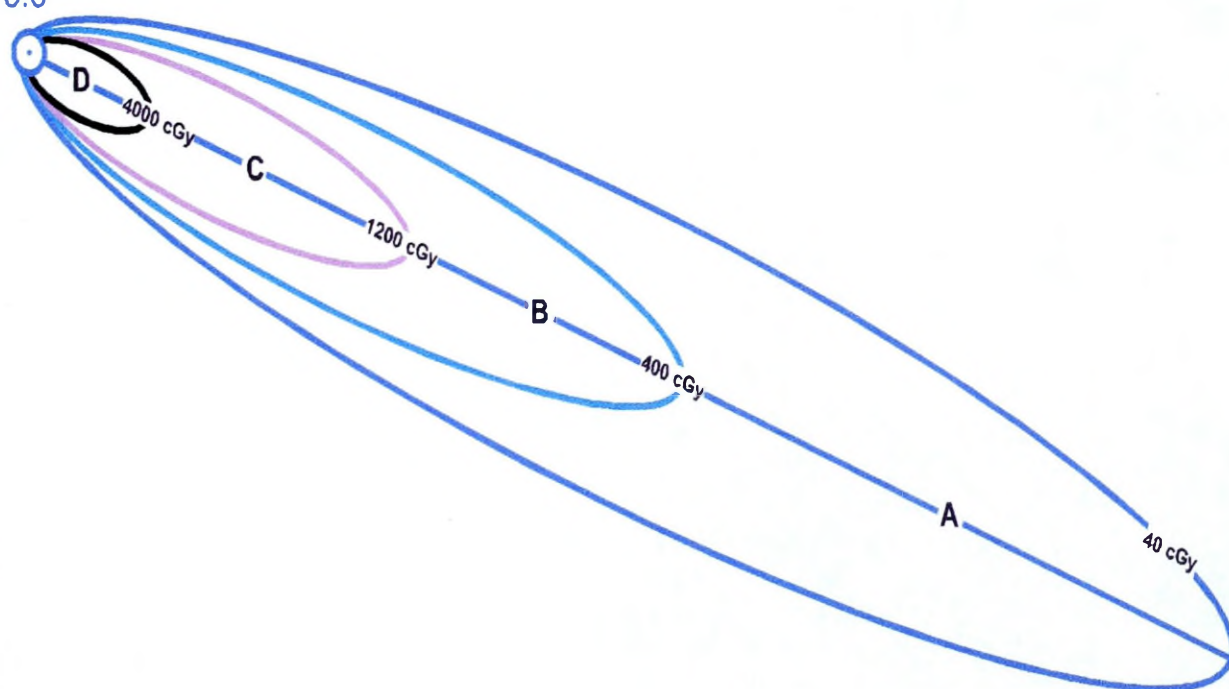
W strefie B prawdopodobieństwo porażenia jest znacznie większe. W terenie odkrytym w ciągu pierwszych dni po opadnięciu substancji promieniotwórczych wszyscy żołnierze mogą utracić zdolność bojową. Wykorzystanie transporterów i ukryć zapewnia jednak wystarczające bezpieczeństwo. Dawka promieniowania w tej strefie kształtuje się od 400 cGy do 1200 cGy.

W strefie C możliwe jest ciężkie porażenie nie ukrytych żołnierzy nawet podczas krótkotrwałego działania, szczególnie w pierwszych godzinach po wybuchu. Jedynie przebywanie w schronach i ukryciach oraz bardzo krótkotrwałe przebywanie w tej strefie wyklucza napromienienie powodujące utratę zdolności bojowej. Dawka promieniowania w tej strefie kształtuje się 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 promieniowania w tej strefie kształtuje się od 4000 cGy do 7000 cGy w środku strefy.

Graficzny obraz stref skażeń promieniotwórczych przedstawia rysunek 9.

500 - Nz  
6.30 5.6



**Rysunek 9 Strefy skażeń promieniotwórczych według metodyki oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie.**

Danymi wyjściowymi do odtworzenia prognozowanej sytuacji skażeń są współrzędne punktu zerowego wybuchu, moc, rodzaj i czas wybuchu oraz kierunek i prędkość średniego wiatru. Dane te pochodzą z systemu wykrywania skażeń oraz z instytucji hydro – meteorologicznych.

Kierunek i prędkość średniego wiatru w rejonie wybuchu jądrowego określa się biorąc pod uwagę moc wybuchu. Na tej podstawie z tabeli 3 wybiera się warstwę atmosfery, dla której odczytuje się dane o średnim wietrze.

Tabela 3

## Warstwy powietrza, w których określa się średni wiatr

Moc wybuchu (kt)	Warstwa powietrza (km)
do 1	0 – 1,5
1 – 10	0 – 3
10 – 100	0 – 6
100 – 1000	0 – 12
ponad 1000	0 - 18

Źródło: Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON 1991

Wrysowanie stref prawdopodobnego skażenia rozpoczyna się od zaznaczenia punktu zerowego wybuchu i wykreślenia wokół niego okręgu. Następnie z punktu zerowego zgodnie z kierunkiem średniego wiatru wykreśla się oś stref prawdopodobnego skażenia. Z kolejnej tabeli odczytuje się długość i maksymalną szerokość każdej strefy i zaznacza je punktami, przez które przeprowadza się elipsy obrazujące granice stref prawdopodobnego skażenia. Przykład takiej tabeli przedstawiono poniżej.

Tabela 4

## Rozmiary stref skażeń 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, MON 1991

UWAGA: Przedstawione dane dotyczą tylko wybuchów naziemnych o mocy 50 i 100kt.

Przy grupowych lub zmasowanych uderzeniach jądrowych, których czas trwania nie przekracza 2 godzin, granice jednakowych, stykających się stref łączy się i obrysowuje ciągłymi liniami o jednakowym kolorze. Przy uderzeniach trwających dłużej niż 2 godziny prognozowaną sytuację rysowuje się oddzielnie dla każdego uderzenia.

### **3.2. Natowska metoda wyznaczania stref skażeń promieniotwórczych**

Do prognozowania opadów promieniotwórczych niezbędna jest moc wybuchu oraz warunki meteorologiczne. Te ostatnie dostępne są w formie meldunku o podstawowych parametrach wiatru (BWM)<sup>13</sup> lub meldunku o skutecznym wietrze (EDM)<sup>14</sup>.

Prognozowanie skażeń promieniotwórczych można przeprowadzić za pomocą dwóch procedur: szczegółowej i uproszczonej. Szczegółową procedurę stosują zwykle komórki posiadające dostęp do pełnych danych meteorologicznych, natomiast uproszczoną jednostki podległe. Prognozy wykonywane według procedury szczegółowej są dokładniejsze, chociaż żadna z nich nie zapewnia dokładnego określenia granic stref skażeń promieniotwórczych, a jedynie wskazują prawdopodobne granice rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych o znaczeniu militarnym.

W obszarze przewidywanego opadu promieniotwórczego wyróżnia się dwie strefy skażeń o różnym znaczeniu. Są to: strefa I i strefa II

Strefa I nazywana jest strefą bezpośredniego zainteresowania operacyjnego. W tej strefie nieostłonięci żołnierze mogą pochłonąć dawki 150 cGy lub większe w stosunkowo krótkim okresie (mniej niż cztery godziny od pojawienia się opadu). W niektórych częściach tej strefy istnieje niebezpieczeństwo poważnych zakłóceń w działaniach wojsk i strat w ludziach;

Strefa II jest strefą drugorzędного zagrożenia. W tej strefie całkowita dawka, jaką nieostłonięci ludzie pochłoną w okresie 4 h od wystąpienia skażenia promieniotwórczego nie powinna przekroczyć 150 cGy, a przez pierwsze 24 h całkowita dawka jaką pochłoną ludzie może wynieść 50 cGy lub więcej. Ludzie, którzy wcześniej nie byli wystawiani na działanie promieniowania jonizującego, mogą kontynuować

---

<sup>13</sup> BWM – Basic Wind Message

<sup>14</sup> EDM – Effective Downwind Message

wykonywanie najważniejszych zadań przez 4 h nie przekraczając granicznej wartości dawki niebezpiecznej 150 cGy;

Przyjmuje się, że na zewnątrz obu stref nie osłonięty stan osobowy wystawiony na działanie promieniowania w ciągu pierwszych 24 h po pojawieniu się skażeń promieniotwórczych nie pochłonie dawki promieniowania większej niż 50 cGy. Całkowita dawka w nieograniczonym czasie nie powinna przekroczyć 150 cGy. W przypadku gdy nastąpią zmasowane uderzenia jądrowe, oceniając zagrożenie skażeniami, należy zawsze przyjmować wyższy stopień zagrożenia.

### **3.2.1. Szczegółowa procedura prognozowania skażeń**

Szczegółowa procedura prognozowania skażeń promieniotwórczych wymaga informacji o parametrach wybuchu jądrowego oraz danych o podstawowych parametrach wiatru. Za każdym razem przygotowuje się wykres z naniesionym wektorem wiatru w warstwie atmosfery, w której przemieszcza się obłok promieniotwórczy. Na podstawie tego wykresu określa się średnią prędkość wiatru, kierunek wiatru oraz przewidywaną szerokość strefy. Prędkość wiatru skutecznego, długość strefy I, promień ukształtowanego obłoku oraz kierunki lewej i prawej linii kierunkowej podaje się w meldunku o zagrożeniu skażeniami (NBC 3 NUC) przekazywanym do podległych jednostek i sąsiadów w celu bezzwłocznego ostrzeżenia o przewidywanym skażeniu promieniotwórczym.

Meldunki o podstawowych parametrach wiatrów rzeczywistych (BWM) i prognozowanych (BWF)<sup>15</sup> zawierają informacje o kierunku z którego wieje wiatr oraz prędkości wiatru w 15-tu dwukilometrowych warstwach atmosfery od powierzchni ziemi do wysokości 30 kilometrów. Meldunek zawiera informacje pogodowe ważne przez 6 godzin. Ponadto w meldunku określa się obszar obowiązywania i czas pomiaru. Meldunek BWR zawiera prognozę wiatrów na okres na okres dłuższy niż 6 godzin. Kierunek wiatru (z którego wieje) w każdej warstwie podaje się z pomocą trzech cyfr a prędkość kolejnymi trzema cyframi. Jednostkę miary wpisuje się pod pozycję literową UNITM. Zwykle jednostkami miary są stopnie (DGT) i kilometry/godzinę (km/h).

Dane o wietrze można przedstawić jedną liczbą sześciocyfrową lub dwiema liczbami trzycyfrowymi np.: 280030 lub 280 030

---

<sup>15</sup> Basic Wind Forecast

Kolejnym krokiem jest sporządzenie wykresu wiatru skutecznego. Do tego celu wykorzystuje się informacje zawarte w meldunku o podstawowych parametrach wiatru (BWM). W pierwszej kolejności określa się kierunki w które wieją wiatry w poszczególnych warstwach atmosfery (poprzez odjęcie lub dodanie do określonych w meldunkach kierunków 180<sup>0</sup>). Następnie wyznacza się długość wektora wiatru na podstawie prędkości wiatru w każdej warstwie. Określa się go na podstawie odpowiedniej dla skali mapy tablicy długości wektorów. Poniżej przedstawiono tabele z długością wektorów wiatru dla skali 1:100 000 oraz 1:250 000.

**Tabela 5**

**Długości wektorów wiatru w cm w zależności od prędkości wiatru w km/h, skala mapy 1:100 000**

PRĘDKOŚĆ WIATRU km/h	WYSOKOŚĆ WARSTW (tysiące metrów)											
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-22	22-30	> 30
5	3,4	2,9	2,6	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7
10	6,8	5,9	5,2	5,0	4,8	4,5	4,2	4,0	3,9	3,8	3,6	3,4
15	10,2	8,8	7,8	7,5	7,2	6,7	6,3	6,0	5,8	5,6	5,4	5,1
20	13,6	11,8	10,4	10,0	9,6	9,0	8,4	8,0	7,8	7,5	7,1	6,8
25	17,0	14,7	13,0	12,6	12,0	11,2	10,5	10,0	9,7	9,4	8,9	8,5
30	20,4	17,7	15,6	15,1	14,4	13,4	12,6	12,0	11,7	11,3	10,7	10,2
35	23,8	20,6	18,1	17,6	16,8	15,7	14,7	14,0	13,6	13,1	12,5	11,9
40	27,2	23,6	20,7	20,1	19,2	17,9	16,8	16,0	15,6	15,0	14,3	13,6
45	30,6	26,5	23,3	22,6	21,6	20,2	19,0	18,0	17,5	16,9	16,1	15,3
50	34,0	29,5	25,9	25,1	24,0	22,4	21,1	20,0	19,4	18,8	17,9	17,0

Źródło: ATP-45

**Tabela 6**

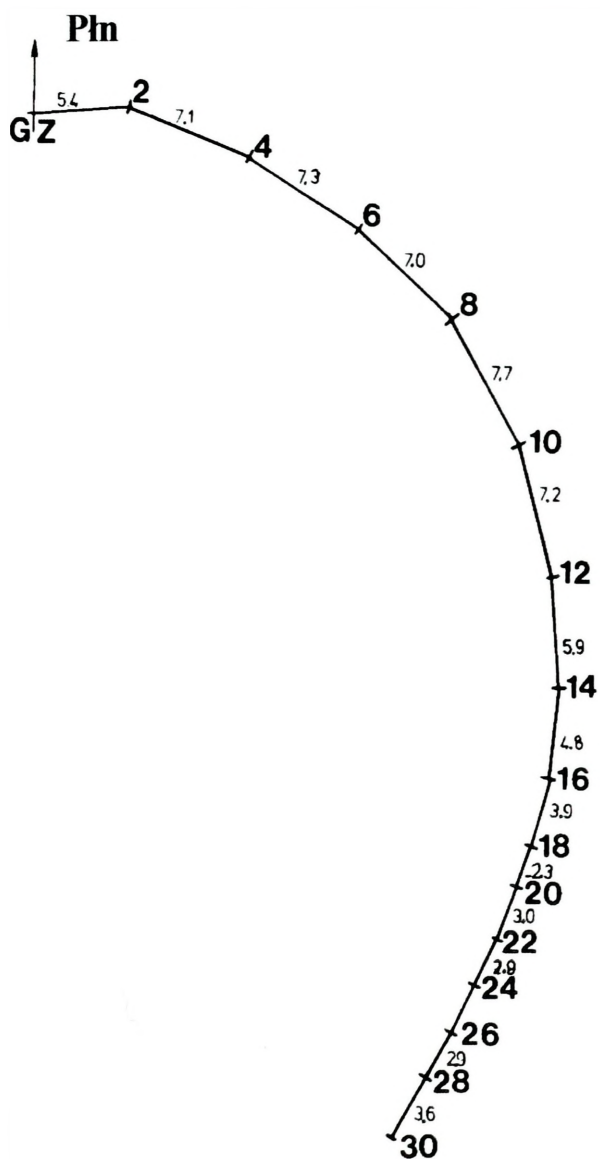
**Długości wektorów wiatru w cm w zależności od prędkości wiatru w km/h, skala mapy 1:250 000**

PRĘDKOŚĆ WIATRU km/h	WYSOKOŚĆ WARSTW (tysiące metrów)											
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-22	22-30	> 30
5	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
10	2,7	2,4	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4
15	4,1	3,5	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3	2,3	2,1	2,0
20	5,4	4,7	4,1	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,1	3,0	2,9	2,7
25	6,8	5,9	5,2	5,0	4,8	4,5	4,2	4,0	3,9	3,8	3,6	3,4
30	8,2	7,1	6,2	6,0	5,8	5,4	5,1	4,8	4,7	4,5	4,3	4,1
35	9,5	8,2	7,3	7,0	6,7	6,3	5,9	5,6	5,4	5,3	5,0	4,8
40	10,9	9,4	8,3	8,0	7,7	7,2	6,7	6,4	6,2	6,0	5,7	5,4
45	12,2	10,6	9,3	9,0	8,6	8,1	7,6	7,2	7,0	6,8	6,4	6,1
50	13,6	11,8	10,4	10,0	9,6	9,0	8,4	8,0	7,8	7,5	7,1	6,8
55	15,0	12,9	11,4	11,0	10,6	9,9	9,3	8,8	8,6	8,3	7,9	7,5
60	16,3	14,1	12,4	12,0	11,5	10,8	10,1	9,6	9,3	9,0	8,6	8,2
75	20,4	17,7	15,5	15,1	14,4	13,4	12,6	12,0	11,7	11,3	10,7	10,2
100	27,2	23,5	20,7	20,1	19,2	17,9	16,9	16,0	15,6	15,0	14,3	13,6

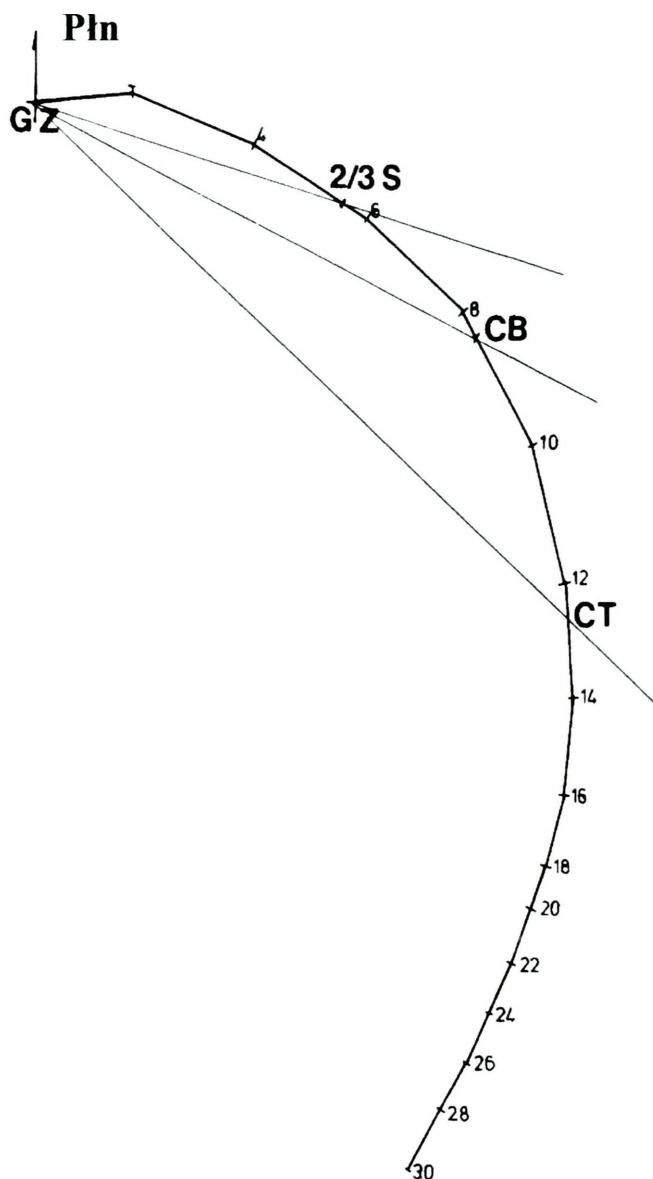
Źródło: ATP-45

Kolejny krok to oznaczenie punktu zerowego (GZ) i kierunku północy na siatce. Z punktu zerowego rysujemy wektor kierunku wiatru dla warstwy 0-2000 m. Następ-

nie należy oznaczyć koniec wektora wskazującego kierunek z wiatrem cyfrą 2. Wektor ten przedstawia zawietrzny kierunek i prędkość wiatru w warstwie od powierzchni ziemi do wysokości 2000 m. Od końca tego wektora narysować następny wektor, którego koniec oznacza się cyfrą 4. Wektor ten przedstawia kierunek i prędkość wiatru na wysokości 2000- 4000 m. Analogicznie należy postąpić z każdą częścią informacji podanej w podstawowym meldunku BWM. W rezultacie powstanie wykres wektorów wiatrów, taki jak przedstawiono na rysunku 10.



Rysunek 10 Wykres wektorów wiatrów

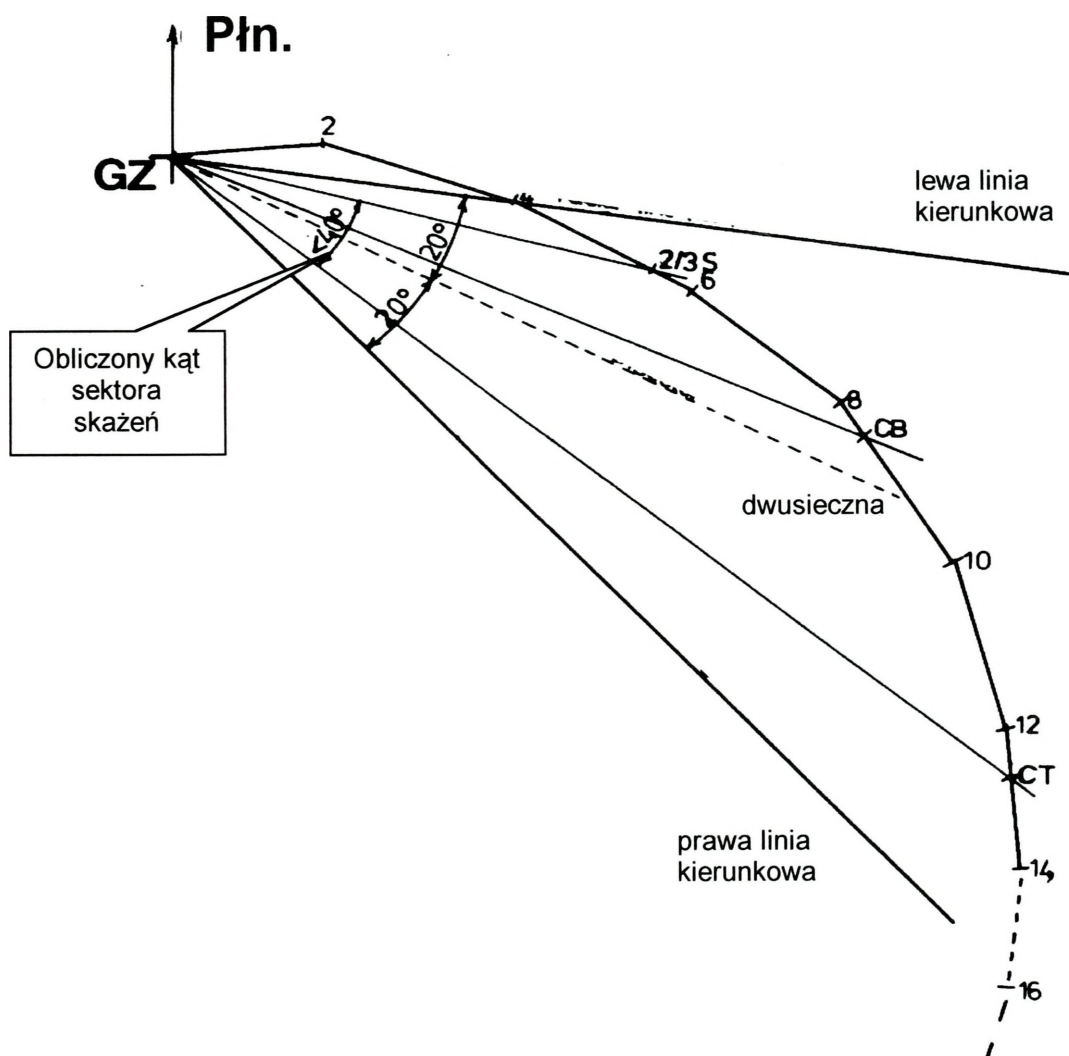


Rysunek 11 Wykres wektorów wiatrów z liniami kierunkowymi

Po narysowaniu wykresu wektorów wiatrów należy określić parametry wierzchołka obłoku, jego podstawy i dwóch trzecich wysokości pnia z nomogramu na rysunku 8. W tym celu należy przyłożyć liniał poziomo, łącząc moc wybuchu (szacunkową lub z meldunku) na lewej skali i skalę indeksową po prawej stronie nomogramu. Odczytać parametry promienia obłoku promieniotwórczego i czas wypadania

pyłu. Następnie, korzystając z wykresu wektorów wiatrów należy określić linie kierunkowe i kierunek wiatru skutecznego. W tym celu należy:

- oznaczyć punkty reprezentujące wysokość wierzchołka obłoku i podstawy obłoku oraz 2/3 wysokości pnia na wykresie wektorów wiatrów (rysunek 11). Położenie punktów CT, CB i 2/3S wyznaczamy przez proporcjonalny podział długości wektora wiatru w warstwie atmosfery odpowiadającej wysokości punktu nad powierzchnią ziemi, np. punkt 1/2S, położony na wysokości 9 km, zaznacza się na wykresie w połowie wektora wiatru warstwy 10 (8-10 km).



**Rysunek 12 Wykres wektorów wiatrów z wyznaczonymi liniami kierunkowymi**

- poprowadzić przez te punkty linie proste z punktu zerowego. Pominąć wszystkie wektory wiatrów poniżej 2/3 wysokości i powyżej punktu oznaczającego wysokość wierzchołka obłoku promieniotwórczego. Jeśli wektory wiatrów pomiędzy oznaczonymi punktami wypadają poza wykreślonymi liniami prostymi poprowadzonymi między punktem zerowym, a tymi punktami, należy rozszerzyć kąt utworzony

przez te linie, tak aby objął on te zewnętrzne wektory. Wyznaczone w ten sposób linie proste, zwane dalej liniami kierunkowymi, wykorzystywane będą do określenia przebiegu granic prognozowanych stref skażeń promieniotwórczych.

- wyznaczyć dwusieczną kąta utworzonego przez dwie linie kierunkowe „GZ do wysokości wzniesienia się obłoku” i „GZ do 2/3 wysokości” (patrz rysunek 12). Kierunek dwusiecznej określa kierunek wiatru skutecznego. Gdy kąt między liniami kierunkowymi został rozszerzony, wyznaczyć dwusieczną tego powiększonego kąta.

- Określić kąt rozwarcia sektora skażeń przy użyciu jednej z następujących metod:  
Przy kącie stałym. Jeśli kąt utworzony przez dwie linie kierunkowe wynosi 40 stopni lub więcej, to przejść do kolejnego punktu. Jeśli kąt jest mniejszy niż 40 stopni, to należy podzielić go na dwa i rozszerzyć do 40 stopni (20 stopni po obu stronach dwusiecznej).

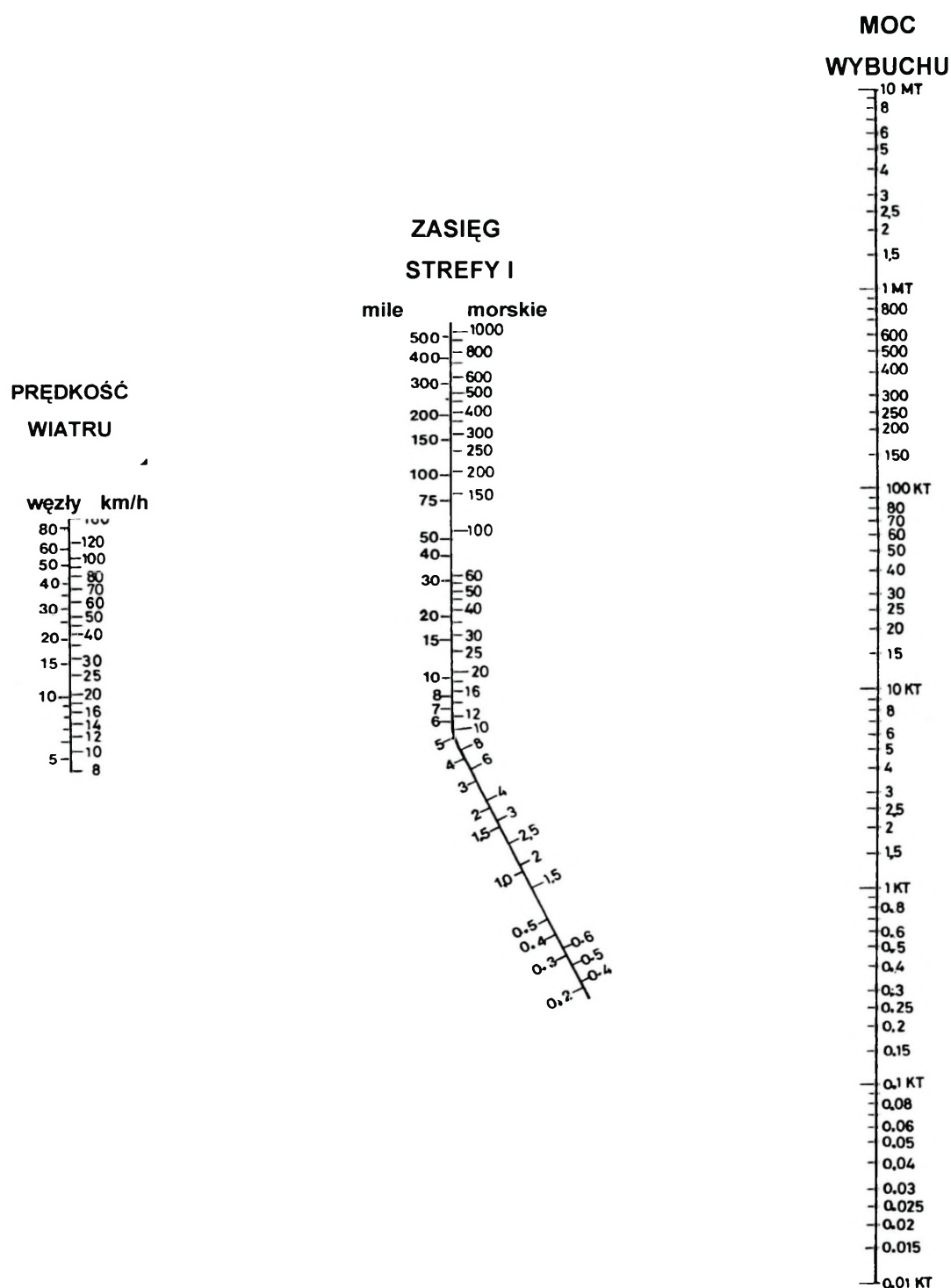
Przy kącie zmiennym. Jest to metoda opcjonalna, oparta na rachunku prawdopodobieństwa. O przemieszczeniu kątowym będzie decydował użytkownik na podstawie specjalnej tablicy z odchyleniem kątowym w funkcji prędkości wiatru skutecznego i mocy wybuchu dla obszaru Europy Północno-Zachodniej, przy zastosowaniu prawdopodobieństwa 80 %.

- Określić prędkości wiatru skutecznego. W tym celu należy zmierzyć długość linii kierunkowej od GZ do punktu dla wysokości podstawy obłoku i przeliczyć otrzymaną wartość na odległość w km używając skali mapy, na której naniesiony jest wykres wektorów wiatrów. Następnie odczytać czas wypadania (rysunek 8) odpowiadający podstawie obłoku i obliczyć prędkość według poniższej zależności:

$$\text{prędkość wiatru skutecznego (EDM)} = \frac{\text{odległość GZ do podstawy obłoku}}{\text{czas wypadania}}$$

- Określić długości strefy I i strefy II. W tym celu przyłożyć do nomogramu przedstawionego na rysunku 13 liniał tak aby moc ładunku wyznaczona po prawej stronie znalazła się na jednej linii ze skalą prędkości wiatru. W punkcie przecięcia się linii ze środkową skalą odczytać wartość długości strefy I. Aby otrzymać długość strefy II (odległość od GZ do zewnętrznej granicy strefy II) należy pomnożyć odczytaną wielkość przez 2.

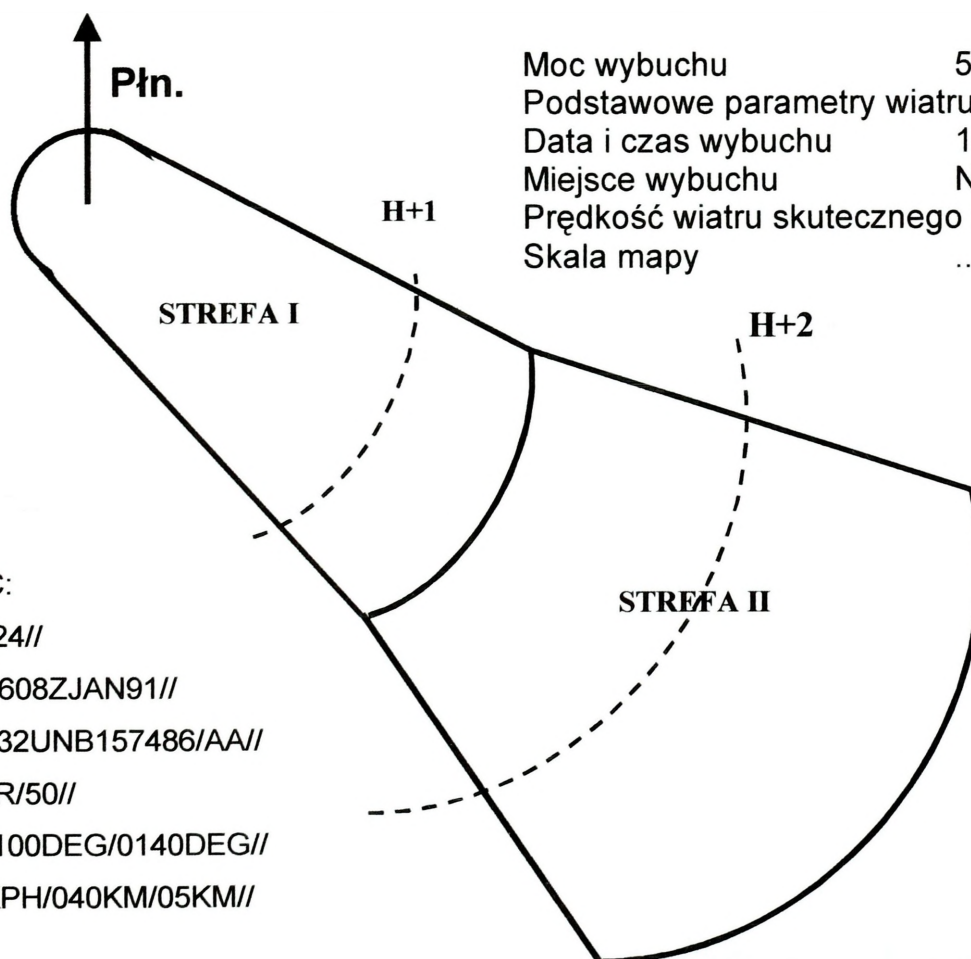
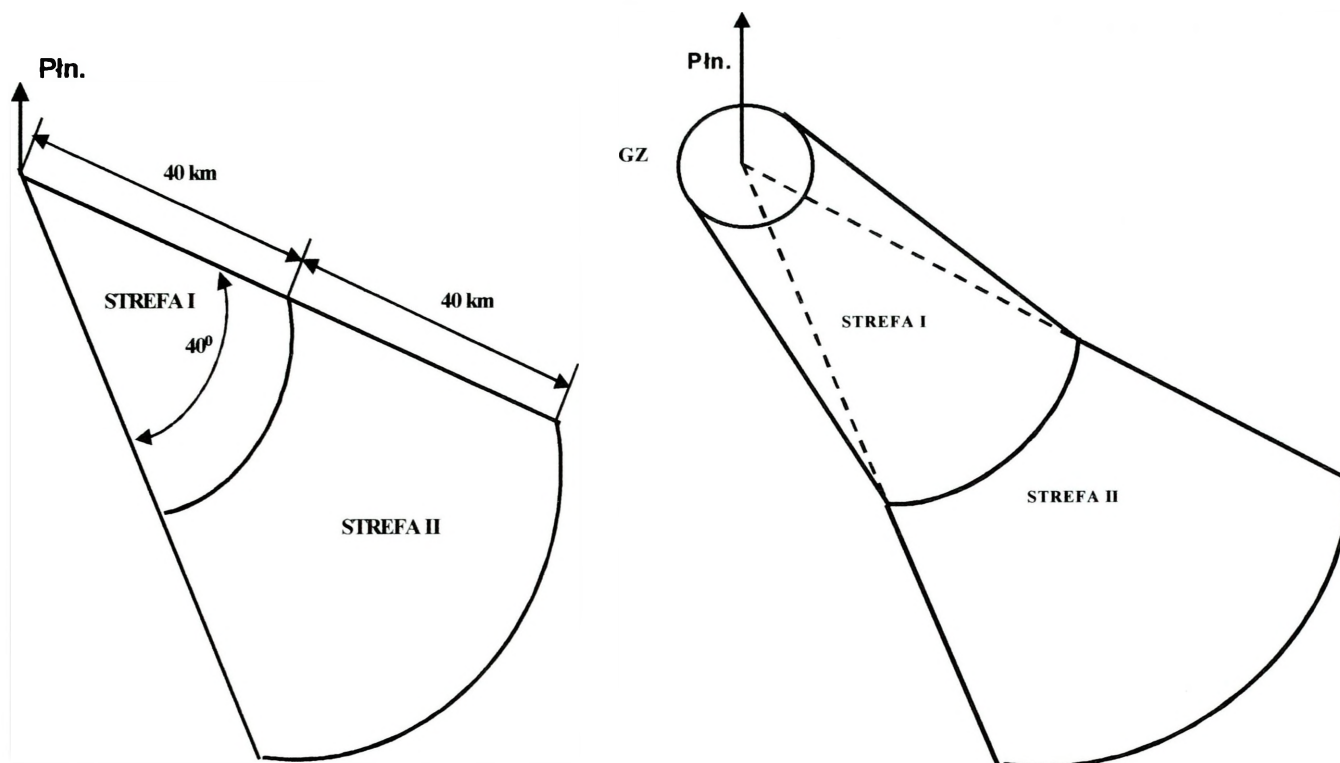
- Określić promień obłoku promieniotwórczego. Do tego celu należy posłużyć się nomogramem (rysunek 8). Następnie wykreślić okrąg o tym promieniu ze środkiem w GZ.



**Rysunek 13 Nomogram do określania długości pierwszej strefy**

- Określić granice stref I i II prognozowanego obszaru skażeń promieniotwórczych. W tym celu należy: poprowadzić dwie linie styczne do okręgu wyznaczonego promieniem obłoku, przez punkty przecięcia linii kierunkowych i łuku wyznaczającego zasięg strefy I. (patrz rysunek 14). Granice strefy I stanowią: łuk wyznaczający zasięg strefy I, dwa odcinki linii stycznych i półokrąg wyznaczony promieniem

obłoku. Granice strefy II tworzą: łuk wyznaczający zasięg strefy II i dwa odcinki linii kierunkowych do punktów przecięcia się tych linii z łukiem wyznaczającym zasięg strefy I.



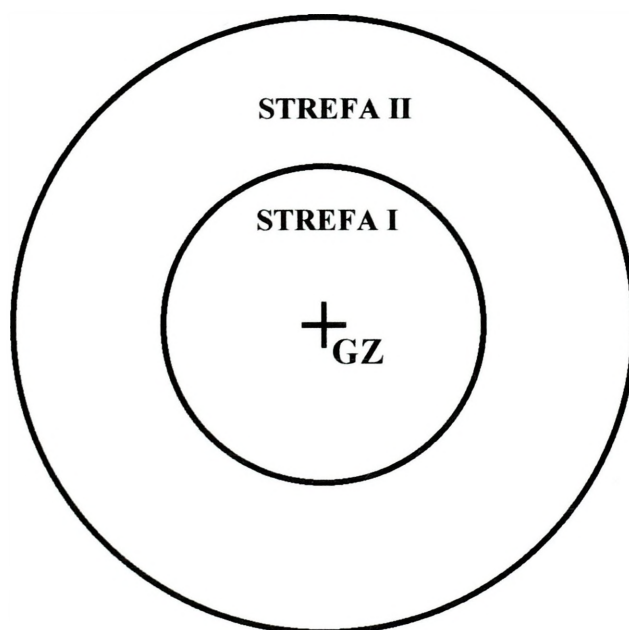
Moc wybuchu 50 kt  
 Podstawowe parametry wiatru 140400Z  
 Data i czas wybuchu 140408Z  
 Miejsce wybuchu NB157486ACTUAL  
 Prędkość wiatru skutecznego 28,5 km/h  
 Skala mapy .....

NBC 3 NUC:  
 ALPHA /0124//  
 DELTA/140608ZJAN91//  
 FOXTROT/32UNB157486/AA//  
 NOVEMBER/50//  
 YANKEE/0100DEG/0140DEG//  
 ZULU/029KPH/040KM/05KM//

**Rysunek 14 Etapy powstawania kompletnego schematu prognozy skażenia promieniotwórczego oraz meldunek NBC 3 NUC**

- Określić czas pojawienia się obłoku promieniotwórczego w danym punkcie. Szacunkowy czas pojawienia się obłoku promieniotwórczego oznacza się na schemacie łukami, kreślonymi przerywaną linią, w odstępach równych drodze przebytej przez obłok w ciągu godziny lub ułamka godziny, traktując GZ jako początek drogi.
- Uzupelnąć prognozę skażenia promieniotwórczego poprzez wpisanie skali mapy w jakiej została wykonana, mocy wybuchu (szacunkową lub rzeczywistą), daty i godziny uderzenia, opisu miejsca uderzenia i podstawowych parametrów wiatru wykorzystywanych do wykreślenia wykresu wektorów wiatrów.

W szczególnym przypadku gdy prędkość wiatru skutecznego wynosi mniej niż 8 km/h, przewidywany obszar opadu promieniotwórczego będzie miał kształt koła, a promienie dwóch koncentrycznych okręgów wokół GZ wyznaczą odpowiednio promień strefy I i strefy II. Promień strefy I wyznacza się jak zawsze na podstawie nomogramu. Odszukując na nomogramie znaną wartość mocy ładunku i prędkość wiatru skutecznego wynoszącą 8 km/h. Odczytać wartość promienia strefy I i pomnożyć tę wartość przez dwa, aby otrzymać promień strefy II. Przedstawia to rysunek 15.

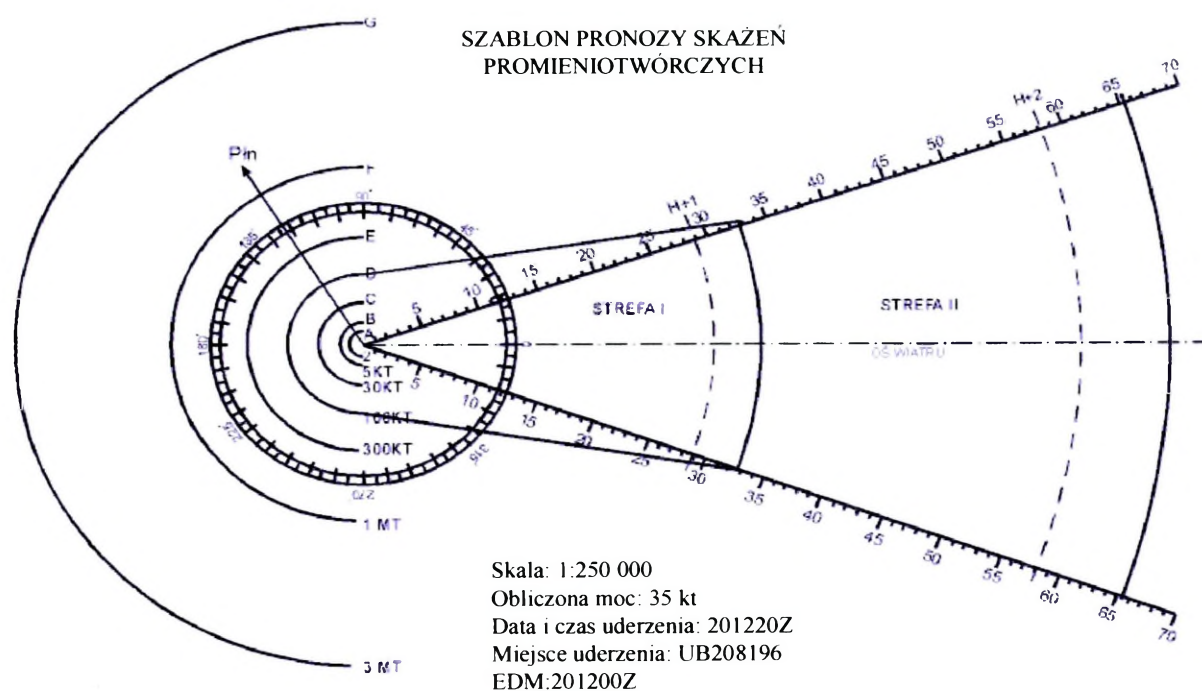


- A. NO 16
- D. 221100Z
- F. BV 754082 (est) 1:50 000

**Rysunek 15 Szczególny przypadek prognozy skażenia promieniotwórczego**  
 Źródło: Nuclear Contamination Avoidance, Washington 1994

### 3.2.2. Uproszczona procedura prognozowania skażeń

Uproszczona procedura wykonywania prognozy skażeń promieniotwórczych wymaga informacji o parametrach wybuchu jądrowego, danych o skutecznym wietrze (meldunek EDM) i prostego szablonu stref, który przedstawiono na rysunku 16.



**Rysunek 16 Szablon prognozy skażeń promieniotwórczych  
z wykonaną prognozą**

Zapewnia ona dowódcom niższego szczebla szybki i skuteczny sposób oceny zagrożenia związanego z opadem promieniotwórczym. W celu umożliwienia jednostkom korzystania z uproszczonej procedury prognozowania skażenia promieniotwórczego, do podległych jednostek przesyła się okresowo meldunek o skutecznym wietrze, zawierający prędkość i kierunek wiatru skutecznego (kierunek dokąd wieje wiatr) dla siedmiu wybranych mocy wybuchu. Każdej z tych grup odpowiada warstwa powietrza, w której przemieszcza się powstały w efekcie wybuchu obłok promieniotwórczy. Oznacza się je kolejnymi literami od A (ALPHA) do G (GOLF):

ALPHA	-	do 2 kt
BRAVO	-	>2 kt do 5 kt
CHARLIE	-	>5 kt do 30 kt
DELTA	-	>30 kt do 100 kt
ECHO	-	>100 kt do 300 kt
FOXTROT	-	>300 kt do 1000 kt (1 MT)
GOLF	-	>1000 kt do 3000 kt (3MT)

Prognozy meteorologiczne o wietrze (EDF) przygotowuje się w wyznaczonych ośrodkach meteorologicznych na podstawie komputerowych prognoz wiatrów. Meldunek EDF tworzy się w celach operacyjnych dla dowództw NATO i wyższych dowództw narodowych. Na niższych szczeblach mogą one być wykorzystywane tylko wtedy, gdy nie są dostępne dane o rzeczywistych wiatrach lub meldunki EDM.

Aby dokonać prognozy metodą uproszczoną należy:

- określić przedział mocy wybuchu;
- na podstawie meldunku EDM określić kierunek północy. W tym celu należy wykreślić półprostą od środka okręgu na szablonie (GZ) przez punkt oznaczający kierunek wiatru na kątomierzu szablonu i oznaczyć ją symbolem Płn. (kierunek „Północ”);
- na podstawie nomogramu przedstawionego na rysunku 13 wyznaczyć długość I strefy. Zasięg strefy II jest dwa razy większy od zasięgu strefy I;
- narysować łuki pomiędzy dwoma liniami kierunkowymi, traktując GZ jako środek, a długości strefy I i strefy II jako promienie. Wykreślić odcinki styczne do półokręgu odpowiadającego określonej grupie mocy ładunku, aż do punktów przecięcia łuku strefy I z liniami kierunkowymi;
- uwzględniając prędkość wiatru skutecznego dla danej grupy mocy ładunku, zaznaczyć liniami przerywanymi szacunkową prędkość przemieszczania się obłoku promieniotwórczego (H1 i H2);
- uzupełnić szablon nanosząc: skalę, szacunkową moc wybuchu w kilotonach, datę i godzinę uderzenia, miejsce uderzenia oraz dane z komunikatu EDM stosowane w prognozie;
- nałożyć szablon na mapę tak aby punkt GZ szablonu ustawić na GZ na mapie i zgrać linię północy szablonu z kierunkiem północy na mapie. Łuki, linie boczne dla strefy I i kierunkowe dla strefy II oraz półokrąg właściwe dla grupy mocy ładunku wyznaczają prognozowany obszar zagrożenia.

Gdy prędkość wiatru skutecznego wynosi mniej niż 8 km/h, dla danej mocy ładunku linia w meldunku EDM będzie zawierać trzy cyfry określające długość pierwszej strefy. Będzie ona okręgiem wokół GZ podobnie jak w przypadku procedury szczegółowej. Jeżeli zaś zajdzie potrzeba rozszerzenia kąta strefy powyżej 40° wówczas do meldunku EDM dla odpowiedniej grupy mocy wybuchów dodaje się siódmą cyfrę np.: FOXTROTM/2300306//.

### 3.3. Porównanie metod wyznaczania stref skażeń promieniotwórczych

Z poprzednich podrozdziałów wynika, że Wojsku Polskim oraz armiach NATO funkcjonowały całkowicie odmienne metodyki prognozowania skażeń. Jak już wcześniej wspomniano różnice wynikają zarówno z odmiennego podejścia do obliczanych parametrów a także (co chyba najważniejsze) 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 nadają się do porównań. Można tylko sądzić, iż w przypadku dobrze opracowanych danych wyjściowych wygodniejszym sposobem będą tabele, które nie pozwalają na popełnianie prostych błędów w odczycie.

Zupełnie odmienne podejście możemy również zaobserwować w liczbie i charakterze stref skażeń. W NATO wyróżnia się tylko dwie strefy definiując je przy pomocy dawki promieniowania jaką mogą otrzymać żołnierze w dość ściśle określonym czasie. Są to okresy do 4 godzin oraz do jednej doby. Należy sądzić, że jest to dobre podejście do problemu, gdyż raczej rzadko będziemy się interesowali skażeniem kilka lub kilkanaście dni po wybuchu jądrowym, zwłaszcza, że moc dawki promieniowania z upływem czasu bardzo szybko maleje.

W Wojsku Polskim, jak do tej pory, określano aż cztery strefy skażeń (szczegółowy opis przedstawiono wcześniej). Ich definicja opierała się jednak na dawce 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 skażonych nie jest zbyt praktyczny i ma jedynie orientacyjny charakter.

Mimo to, porównując definicje stref skażeń promieniotwórczych można dopatrzeć się pewnych podobieństw. 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. W przypadku polskiej metodyki w strefie umiarkowanego skażenia (strefa A) mówi się tylko o otrzymaniu dawki promieniowania powodującej utratę zdolności bojowej w ciągu kilku pierwszych dni. W taki sposób nie da się porównać

obu stref. Jednak po wglębieniu się w tabele odpowiedniej metodyki<sup>16</sup> możemy odczytać, że podczas przebywania żołnierzy w strefie A przez 4 godziny pochłoną oni dawkę 85 cGy, a więc nie większą niż 150 cGy. W przypadku przebywania żołnierzy w strefie skażeń przez 24 godziny dawka pochłonięta wyniesie 113 cGy, co znów mieści się w przedziale 50 cGy – 150 cGy.

Z przedstawionych danych wynika, że po pewnym uproszczeniu, strefa umiarkowanego skażenia (strefa A) może być przyrównana do strefy drugorzędного zagrożenia (strefa II).

Analogicznie można by porównać pozostałe strefy skażeń, jednak ich liczba nie jest jednakowa. Mimo to można pokusić się o sprawdzenie strefy B, która zgodnie z logiką powinna wchodzić w strefę I (bezpośredniego zainteresowania operacyjnego). Definicja z ATP-45 określa strefę I jako strefę, w której nieosłonięci ludzie w czasie krótszym niż 4 godziny (niestety nie wiadomo ile krótszym) pochłoną dawkę promieniowania 150 cGy lub większą. Polska metodyka z kolei definiuje strefę B równie enigmatycznie jak poprzednią lecz po odnalezieniu informacji w tabeli możemy stwierdzić, że już po 20 minutach nieosłonięci żołnierze otrzymają dawkę 197 cGy, a po 2 godzinach nawet 400 cGy. Wynika z tego, że strefa B spełnia wymagania strefy I (podobnie zresztą jak i pozostałe strefy C i D), chociaż w tym przypadku są to zbyt duże uogólnienia, nie dające wiarygodnych wyników.

Aby jednak porównanie obu sposobów prognozowania było pełniejsze warto posłużyć się przykładem. Do obliczeń przyjęto następujące dane:

moc wybuchu - 50 kt;

podstawowe parametry wiatru (z meldunku BWM):

warstwa 02 – 265 020

warstwa 04 – 290 030

warstwa 06 – 300 035

warstwa 08 – 310 035

warstwa 10 – 330 040

warstwa 12 – 345 040

warstwa 14 – 355 035

warstwa 16 – 005 030

---

<sup>16</sup> Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON 1991, tabela 4, s. 54.

Sposób obliczeń według ATP-45:

- sporządzenie wykresu wiatru skutecznego

- a). określić kierunki w których wieją wiatry;
- b). wyznaczyć długości wektorów w poszczególnych warstwach /skala 1:250 000/;

Tabela 7

**Wyznaczanie parametrów wiatru skutecznego**

Warstwa	kierunek wiatru z BWM	kierunek wiatru (BWM ± 180°)	prędkość wiatru(km/h)	długość wektora (cm)
warstwa 02	265	085	20	5,4
warstwa 04	290	110	30	7,1
warstwa 06	300	120	35	7,3
warstwa 08	310	130	35	7,0
warstwa 10	330	150	40	7,7
warstwa 12	345	165	40	7,2
warstwa 14	355	175	35	5,9
warstwa 16	005	195	30	4,8

c). narysować wykres wektorów wiatrów;

- określenie parametrów stref skażeń promieniotwórczych

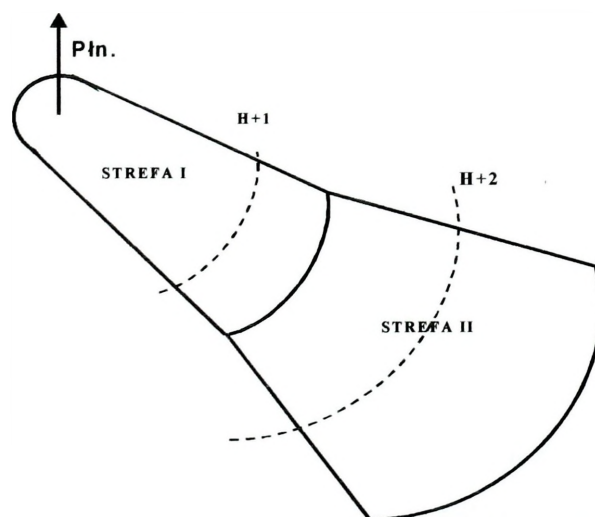
- a) narysować linie kierunkowe i kierunek wiatru skutecznego;
- b). określić kąt rozwarcia sektora skażeń;
- c). określić prędkość wiatru skutecznego;

$$\text{prędkość wiatru skutecznego} = \frac{\text{odległość GZ do podstawy obłoku /67km/}}{\text{czas wypadania /2,35 h/}} = 28,5 \text{ km/h}$$

d). określić długość stref I i II; długość strefy I = 40 km; strefy II = 80 km

e). określić promień obłoku promieniotwórczego = 5 km

f). określić granice stref I i II i czas dościa obłoku po 1 i 2 godzinach



Rysunek 17 Graficzny wynik prognozy skażeń

Sposób obliczeń według metodyki polskiej:

- a). określenie warstwy powietrza, w której należy określić średni wiatr;  
z tabeli 3 odczytujemy dla wybuchu 50 kt warstwę 0 – 6
- b). określenie kierunku i prędkości średniego wiatru;  
kierunek  $106^{\circ}$ , prędkość 27,5 km/h
- c). określenie stref skażonych na śladzie obłoku;  
z tabeli 2 dla prędkości wiatru 25 km/h odczytujemy długość i szerokość stref skażeń:  
strefa A 93km / 16km;  
strefa B 31km / 7,1 km;  
strefa C 16km / 4,5 km;  
strefa D 5,4km / 1,9 km.
- d). wrysowanie sytuacji skażeń na mapę.

Z przedstawionych wyżej informacji wynika, że w przypadku metody natowskiej, występuje znacznie większy stopień komplikacji, który wymaga wielu żmudnych obliczeń i kalkulacji. Z kolei w metodzie polskiej nie wiadomo dlaczego ograniczono liczbę warstw powietrza, w których oblicza się średni wiatr dla mocy 50 kt (w NATO 0-30, w Polsce 0-6). Ta różnica jest m.in. przyczyną innego kierunku przemieszczania się obłoku promieniotwórczego (w NATO  $140^{\circ}$ , w Polsce  $106^{\circ}$ ), co może doprowadzić do nieprawidłowej prognozy. Jest to dość znaczna różnica, która w istotny sposób oddala oba sposoby prognozowania. Mimo to prędkość wiatru skutecznego jest bardzo podobna, a uzyskane zasięgi skażeń zbliżone. Jeżeli, zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami, przyjmiemy strefę A jako strefę II a strefy B, C, D jako strefę I wówczas wyniki są kompatybilne.

strefa A 93 km - strefa II 80 km;  
strefa B 31 km - strefa I 40 km;  
pozostałe strefy C i D mieszczą się w zakresie strefy I.

Po uproszczeniu, można przyjąć, że takie wyniki, mimo że nie jednakowe mogą stanowić wystarczające źródło informacji niezbędnych do planowania działań w terenie skażonym. Należy przy tym pamiętać, że wszelkie prognozy, niezależnie od sposobów ich przygotowania mają charakter probabilistyczny i **zawsze** zawierają pewien pierwiastek błędu.

#### 4. OCENA ZAGROŻENIA PODCZAS DZIAŁANIA WOJSK W TERENIE SKAŻONYM

Prognozowanie skażeń promieniotwórczych umożliwia lokalizację i określenie wielkości prawdopodobnych zagrożeń. Informacje te są niezbędne do szybkiego ostrzegania wojsk o nadchodzącym zagrożeniu a także stanowią podstawę do planowania dalszych działań. Mimo ich niewątpliwej przydatności, żadna prognoza nie określa dokładnie, gdzie nastąpi opad lub jaka będzie moc dawki w konkretnym miejscu i czasie. Skażenie promieniotwórcze może być również większe niż przewidywano np. na skutek opadów deszczu, a niskie wybuchy powietrzne mogą z kolei wywołać promieniowanie wtórne, wzbudzone promieniowaniem neutronowym.

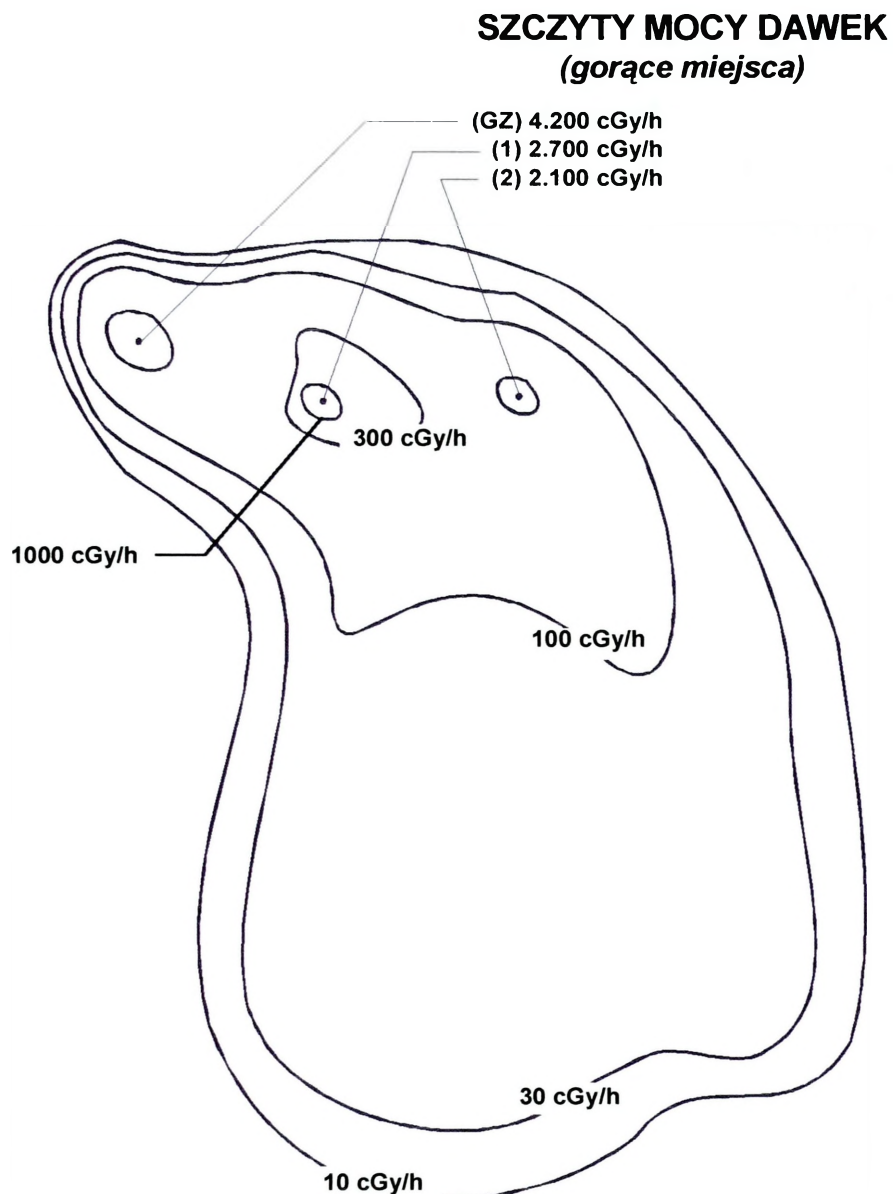
W czasie planowania działań w strefach skażeń promieniotwórczych, dowódcy powinni być świadomi zagrożeń związanych ze skażeniami, toteż w miarę możliwości należy dążyć do udokładnienia danych meldunkami z rozpoznania skażeń. Podstawą tych meldunków są zmierzone podczas rozpoznania moce dawek promieniowania w terenie. Odtworzenie rzeczywistej sytuacji skażeń pozwala dowódcom udokładnić posiadane dane a następnie powziąć decyzję o dalszych działaniach w strefach skażonych, określić możliwości zajęcia zaplanowanych rejonów rozmieszczenia wojsk, a także określić zakres prac mających na celu ograniczenie zagrożenia oraz likwidacji skutków skażenia.

Porównując metody stosowane w Wojsku Polskim oraz w NATO można już na wstępie stwierdzić, iż są one zbliżone i w obu przypadkach opierają się na wielu różnorodnych tabelach, nomogramach i schematach. W zasadzie występuje tylko jedna ale za to podstawowa różnica, która została już przedstawiona w poprzednich rozdziałach. Chodzi tu o ilość i charakter stref skażeń.

W polskiej metodzie przy opracowywaniu rzeczywistej sytuacji skażeń dalej istnieje podział na określone strefy skażeń; A, B, C, D. Powstają one po naniesieniu zmierzonych podczas rozpoznania mocy dawek i porównaniu ich z izoliniami odpowiadającymi poszczególnym strefom skażeń.

Z kolei w metodzie natowskiej tworzy się schemat skażenia promieniotwórczego, który zawiera miejsca uderzeń jądrowych, kontury izolinii mocy dawki 30, 100, 300, 1000 cGy/h przeliczone na jedną godzinę po wybuchu oraz inne dane (między innymi tzw. gorące miejsca). Nie ma przy tym żadnego odniesienia do jakichkolwiek stref skażeń. Opracowane w ten sposób schematy przesyła się faksem lub w formie meldunku NBC 5 NUC. Przykład oleaty zawierającej ocenę skażeń

promieniotwórczych przedstawia rysunek 18.



**Rysunek 18 Rzeczywista sytuacja skażeń**  
Źródło: opracowanie własne

Ze względu na podobny sposób oceny rzeczywistej sytuacji skażeń promieniotwórczych (wrysowane są izolinie poszczególnych stref skażeń) zrezygnowano z przedstawienia polskiego sposobu obrazowania tej sytuacji.

Aby możliwe było określenie rzeczywistej sytuacji skażeń należy posiadać wiarygodne informacje o mocy dawki w poszczególnych punktach. W tym celu prowadzi się tzw. rozpoznanie szczegółowe (*survey*). We wszystkich państwach, niezależnie od orientacji politycznej, realizuje się je za pomocą patroli naziemnego lub powietrznego rozpoznania skażeń. Z oczywistych względów wygodniejszym, bezpieczniejszym i znacznie szybszym sposobem jest powietrzne rozpoznanie skażeń.

W celu przeliczenia mocy dawki promieniowania zmierzonej w czasie powietrznego rozpoznania skażeń na wartość mocy dawki na powierzchni ziemi należy znać współczynnik osłabienia warstwy powietrza znajdującej się pomiędzy samolotem (śmigłowcem), a ziemią. Współczynnik przeliczeniowy odpowiadający tej warstwie powietrza (*AGCF w NATO*)<sup>17</sup> pozwala powiązać pomiar wykonany na ziemi ze wskazaniami przyrządów na pokładzie samolotu przelatującego na pewnej wysokości nad tym samym punktem w tym samym czasie. Oblicza się go korzystając z zależności:

$$AGCF = \frac{\text{moc dawki na ziemi}}{\text{moc dawki w powietrzu}}$$

Mnożąc odczyty z samolotu (śmigłowca) przez *AGCF*, można w przybliżeniu uzyskać wartości na powierzchni ziemi, które podaje się w meldunku NBC 4 NUC.

Aby dokonać porównania polskiej i zachodniej metody oceny zagrożeń należałoby przedstawić kilka przykładów, które zobrazują zasady dokonywania stosownych obliczeń. Do najważniejszych obliczeń wykonywanych podczas oceny sytuacji skażeń należą m.in.:

- określenie dawek promieniowania podczas przebywania w terenie skażonym;
- określenie dawek promieniowania podczas przekraczania stref skażonych;
- określenie dopuszczalnego czasu przebywania w terenie skażonym;
- określenie dopuszczalnego czasu wejścia w teren skażony.
- określenie dopuszczalnego czasu wyjścia z terenu skażonego<sup>18</sup>

Informacje uzyskane z tych obliczeń są następnie podstawą do szacowania ewentualnych strat w ludziach i określenia zdolności bojowej pododdziałów, oddziałów i związków taktycznych.

#### **4.1. Określanie dawki pochłoniętej podczas przebywania w terenie skażonym**

Zgodnie z natowską metodą obliczeń do kalkulacji dawki pochłoniętej niezbędne są następujące dane:

- moc dawki promieniowania w godzinę po wybuchu;

---

<sup>17</sup> AGCF - Air – Ground Correlation Factors

<sup>18</sup> Wykonuje się również szereg innych obliczeń, których ze względu na ograniczoną ilość miejsca nie ujęto w tym opracowaniu – przypis autora.

- czas przebywania w terenie skażonym;
- czas rozpoczęcia napromienienia (czas wejścia) w godzinach po wybuchu;
- stała rozpadu.

Moc dawki promieniowania ma zmienny charakter i maleje w miarę upływu czasu zgodnie z równaniem Kaufmana:

$$R_1 \times t_1^N = R_2 \times t_2^N$$

gdzie:

- R - moc dawki promieniowania w miejscu pomiaru;
- $t_1, t_2$  - czas po wybuchu wyrażony w godzinach;
- N - stała rozpadu.

Równanie to opisuje charakter spadku mocy dawki promieniowania, po zakończeniu wypadania. Indeksy 1 i 2 oznaczają dwa pomiary mocy dawki w tym samym miejscu, ale różnym czasie.

Przeprowadzenie wiarygodnych obliczeń mocy dawki i dawki pochłoniętej, jest możliwe dopiero po poznaniu szybkości rozpadu. Będzie to możliwe po uzyskaniu kilkunastu meldunków zawierających zmierzoną moc dawki (NBC 4 NUC).

Wartość stałej rozpadu skażenia promieniotwórczego informuje o szybkości rozpadu izotopów promieniotwórczych zawartych w pyle promieniotwórczym, a w efekcie o tempie spadku mocy dawki w terenie skażonym. Wartości te zależą od wielu czynników. Niektóre z nich to:

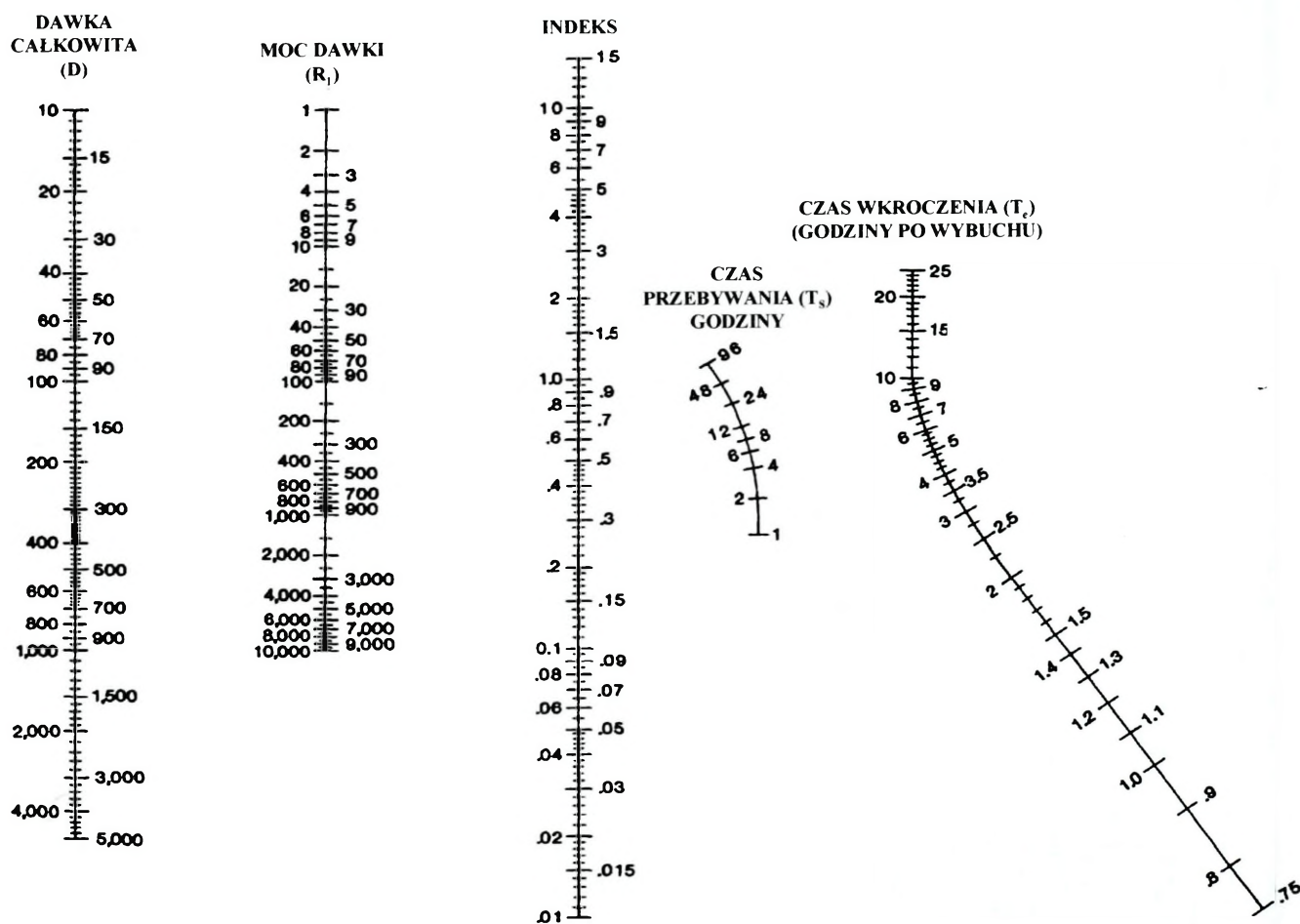
- wysokość i rodzaj wybuchu;
- rodzaj ładunku (jednofazowy, dwufazowy i trójfazowy);
- rodzaj materiałów radioaktywnych konstrukcyjnych i strukturalnych zastosowanych w ładunku;
- rodzaj i ilość materiałów, które uległy wyparowaniu lub wciągnięciu do kuli ognistej;
- specjalne przygotowanie bomby w celu wywołania skutku powolnego rozpadu;
- nakładanie się skażeń promieniotwórczych;
- rodzaj gleby.

Stała rozpadu ma charakterystyczną wartość średnią, która może być różna dla poszczególnych próbek i wahać się będzie w granicach od 0,2 do 2,0. Obliczenia stałej rozpadu będą prawidłowe, gdy odczyty mocy dawki wykonywano po zakończeniu wypadania (tj. po osiągnięciu maksymalnej mocy dawki). Równanie Kaufmana

nie ma zastosowania, gdy trwa wypadanie pyłu promieniotwórczego. Z powodu zwłoki, jaka jest potrzebna do określenia rzeczywistej stałej rozpadu, wszystkie jednostki stosują standardowy współczynnik rozpadu  $n = 1,2$ , dopóki nie otrzymają innego polecenia z właściwego ośrodka analizy skażeń.

Należy jednak pamiętać, że gdy mamy do czynienia z nakładającymi się strefami skażeń, stosowanie wartości średniej współczynnika  $n$  może prowadzić do poważnych błędów.

Do obliczania sumarycznej dawki pochłoniętej, czasu wejścia i przebywania w terenie skażonym wykorzystuje się specjalne nomogramy, różniące się między sobą jedynie stałą rozpadu. Przykład takiego nomogramu dla  $n = 1,2$  przedstawiono na rysunku 19.



**Rysunek 19** Nomogram do określania dawki całkowitej dla stałej  $n = 1,2$

UWAGA: Jeśli  $T_e > H + 25$  godzin to  $D = R_{Te} \times T_s$

Nomogramy sumarycznej dawki określają relacje pomiędzy sumaryczną dawką -  $D$ , mocą dawki w  $H+1$  -  $R_1$ , czasem przebywania -  $T_s$  oraz czasem wejścia -  $T_e$ . Pośrodku znajduje się skala indeksowa. Stosuje się ją jako krok pośredni pomię-

dzy  $D$  i  $R_1$  i  $T_s$  i  $T_e$ . Wartość ze skali indeksowej mnoży się przez  $R_1$  aby znaleźć  $D$ . Podczas posługiwania się skalą indeksową należy aż dwukrotnie przykładać linijkę, co może prowadzić do powstania błędu. Aby tego uniknąć można posłużyć się specjalnymi tabelami, w których po podstawieniu odpowiednich danych odczytujemy potrzebny indeks. Przykład przedstawia tabela 8.

Tabela 8

Wartość indeksu dla dawki całkowitej przy  $n = 1,2$

Czas wejścia	Czas pozostania w godzinach ( $T_s$ )														
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	24	36	48	72	96
0,75	0,83	1,2	1,5	1,6	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,7	2,9	3	3,2	3,3
0,8	0,78	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2
0,9	0,71	1,1	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,5	2,7	2,8	3	3,1
1	0,65	0,99	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,4	2,6	2,7	2,9	3
1,1	0,6	0,92	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9
1,2	0,55	0,86	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8
1,3	0,51	0,81	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7
1,4	0,48	0,76	0,96	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	2,1	2,3	2,4	2,6	2,7
1,5	0,45	0,72	0,91	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	2	2,2	2,3	2,5	2,6
1,6	0,42	0,68	0,87	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6
1,7	0,4	0,65	0,83	0,97	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5
1,8	0,38	0,62	0,79	0,93	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,8	2	2,2	2,3	2,5
1,9	0,36	0,59	0,76	0,89	1	1,1	1,2	1,2	1,4	1,4	1,8	2	2,1	2,3	2,4
2	0,34	0,56	0,73	0,86	0,96	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4
2,25	0,3	0,51	0,66	0,79	0,89	0,97	1,1	1,1	1,2	1,3	1,7	1,8	2	2,1	2,3
2,5	0,27	0,46	0,61	0,72	0,82	0,9	0,96	1	1,2	1,2	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2
2,75	0,25	0,42	0,56	0,67	0,76	0,84	0,91	0,97	1,1	1,2	1,5	1,7	1,8	2	2,1
3	0,22	0,39	0,52	0,63	0,71	0,79	0,86	0,92	1	1,1	1,4	1,6	1,7	1,9	2
3,25	0,21	0,36	0,48	0,59	0,67	0,75	0,81	0,87	0,97	1,1	1,4	1,6	1,7	1,8	2
3,5	0,19	0,34	0,45	0,55	0,63	0,7	0,77	0,82	0,92	1	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9
3,75	0,18	0,31	0,43	0,52	0,6	0,67	0,73	0,78	0,88	0,96	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9
4	0,17	0,3	0,4	0,49	0,57	0,63	0,69	0,75	0,84	0,92	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8
4,5	0,15	0,26	0,36	0,44	0,51	0,58	0,63	0,68	0,77	0,85	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7
5	0,13	0,24	0,33	0,4	0,47	0,53	0,58	0,63	0,71	0,79	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
5,5	0,12	0,21	0,3	0,37	0,43	0,49	0,54	0,58	0,67	0,73	1	1,2	1,3	1,5	1,6
6	0,11	0,2	0,27	0,34	0,4	0,45	0,5	0,54	0,62	0,69	0,96	1,1	1,2	1,4	1,5
6,5	0,1	0,18	0,25	0,31	0,37	0,42	0,47	0,51	0,58	0,65	0,91	1,1	1,2	1,4	1,5
7	0,09	0,17	0,23	0,29	0,35	0,39	0,44	0,48	0,55	0,61	0,87	1	1,1	1,3	1,4
7,5	0,08	0,15	0,22	0,27	0,32	0,37	0,41	0,45	0,52	0,58	0,83	0,99	1,1	1,3	1,4
8	0,08	0,14	0,2	0,26	0,31	0,35	0,39	0,43	0,49	0,55	0,8	0,95	1,1	1,2	1,3
8,5	0,07	0,13	0,19	0,24	0,29	0,33	0,37	0,4	0,47	0,53	0,77	0,92	1	1,2	1,2
9	0,07	0,13	0,18	0,23	0,27	0,31	0,35	0,38	0,45	0,5	0,74	0,89	0,99	1,2	1,3
9,5	0,06	0,12	0,17	0,22	0,26	0,3	0,33	0,37	0,43	0,48	0,71	0,86	0,96	1,1	1,2
10	0,06	0,11	0,16	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	0,41	0,46	0,68	0,83	0,94	1,1	1,2
11	0,05	0,1	0,15	0,19	0,22	0,26	0,29	0,32	0,38	0,42	0,64	0,78	0,88	1	1,1
12	0,05	0,09	0,13	0,17	0,2	0,24	0,27	0,3	0,35	0,39	0,6	0,74	0,84	0,98	1,1
13	0,04	0,08	0,12	0,16	0,19	0,22	0,25	0,27	0,32	0,37	0,57	0,7	0,8	0,94	1
14	0,04	0,08	0,11	0,14	0,17	0,2	0,23	0,25	0,3	0,34	0,53	0,66	0,76	0,9	1
15	0,04	0,07	0,1	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24	0,28	0,32	0,51	0,63	0,73	0,86	0,96
16	0,03	0,07	0,1	0,13	0,15	0,18	0,2	0,22	0,27	0,3	0,48	0,6	0,7	0,83	0,93
17	0,03	0,06	0,09	0,12	0,14	0,17	0,19	0,21	0,25	0,29	0,46	0,58	0,67	0,8	0,89
18	0,03	0,06	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,2	0,24	0,27	0,44	0,55	0,64	0,77	0,87
19	0,03	0,05	0,08	0,1	0,13	0,15	0,17	0,19	0,23	0,26	0,42	0,53	0,62	0,75	0,84
20	0,03	0,05	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,25	0,4	0,51	0,6	0,72	0,81
21	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,2	0,24	0,38	0,49	0,58	0,7	0,79
22	0,02	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,19	0,22	0,37	0,47	0,56	0,68	0,77
23	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,15	0,19	0,22	0,36	0,46	0,54	0,66	0,75
24	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,13	0,15	0,18	0,21	0,34	0,44	0,52	0,64	0,73
25	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,14	0,17	0,2	0,33	0,43	0,51	0,62	0,71

Źródło: Nuclear Contamination Avoidance, Washington 1994

Należy zawsze stosować moc dawki zmierzonej po godzinie od wybuchu.

Moc dawki promieniowania ( $R_1$ ) musi być określona przed wykorzystaniem nomogramów do obliczania sumarycznej dawki. Aby można było wykorzystać nomogram do uzyskania brakującej informacji muszą być znane dowolne dwie z trzech pozostałych danych.  $D$  oraz  $R_1$  lub  $T_s$  i  $T_e$  stosowane są łącznie.

Podczas określania danych przy pomocy nomogramu należy zaczynać zadanie od strony, gdzie znajdują się wartości znane. Jeśli dane są  $D$  i  $R_1$ , należy zaczynać po lewej stronie. Jeśli dane są  $T_s$  i  $T_e$  należy zaczynać po stronie prawej. Nigdy nie należy rozpoczynać zadania od łączenia  $D$  lub  $R_1$  z którąś z wartości czasowych.

W przypadku polskiej metody oceny sytuacji promieniotwórczej wyróżnia się prognozy odtworzone na podstawie mapy z wrysowanymi strefami prawdopodobnego skażenia (w przypadku gdy nie dysponujemy jeszcze pełnymi danymi o skażonych rejonach) oraz na podstawie danych z rozpoznania. Wynik pierwszej metody nosi nazwę prognozowanej sytuacji skażeń, drugi natomiast to rzeczywista sytuacja skażeń. Ze względu na zdecydowanie większą wiarygodność prognozy druga metoda jest metodą lepszą, choć można ją wykorzystać dopiero po pewnym czasie, gdy dysponujemy już wynikami rozpoznania. Dla celów porównawczych, dalszej analizie poddano metodę oceny rzeczywistej sytuacji skażeń (tak jak w przypadku metody natowskiej).

Danymi wyjściowymi do odtworzenia rzeczywistej sytuacji promieniotwórczej są moce dawki i czas ich pomiaru w wybranych punktach terenowych. Na ich podstawie wrysowuje się granice rzeczywistych stref skażeń A, B, C i D. W tym celu na mapie zaznacza się punkty ze zmierzonymi mocami dawek przeliczonymi na 1 godzinę po wybuchu.

Do przeliczenia mocy dawki wykorzystuje się współczynnik podany w tabeli 9.

Kolejne informacje niezbędne do prognozy to:

- czas rozpoczęcia napromienienia ( $t_{pocz}$ );
- czas ( $T$ ) przebywania w strefie;
- warunki rozmieszczenia żołnierzy ( $k_{ost}$ );
- dotychczas pochłonięte dawki promieniowania i czas jaki upłynął od poprzedniego napromienienia.

Tabela 9

**Współczynnik do przeliczania mocy dawki promieniowania  
na różny czas po wybuchu**

Czas pomiaru mocy dawki promieniowania od chwili wybuchu		Czas od chwili wybuchu (h), na jaki przelicza się moc dawki promieniowania						
		0,5	1	2	3	4	12	24
minuty	15	0,44	0,19	0,082	0,051	0,036	0,0096	0,0042
	20	0,61	0,27	0,12	0,071	0,051	0,013	0,0058
	30	1	0,44	0,19	0,12	0,082	0,022	0,0096
	40	1,4	0,61	0,27	0,17	0,12	0,031	0,014
	50	1,8	0,8	0,35	0,21	0,15	0,041	0,018
godziny	1	2,3	1	0,44	0,27	0,19	0,051	0,022
	1,5	3,7	1,6	0,71	0,44	0,31	0,082	0,036
	2	5,3	2,3	1	0,61	0,44	0,12	0,051
	2,5	6,9	3	1,3	0,8	0,57	0,15	0,066
	3	8,6	3,7	1,6	1	0,71	0,19	0,082
	3,5	10	4,5	2	1,2	0,85	0,23	0,1
	4	12	5,3	2,3	1,4	1	0,27	0,12
	5	16	6,9	3	1,8	1,3	0,35	0,15
	6	20	8,6	3,7	2,3	1,6	0,44	0,19
	8	28	12	5,3	3,2	2,3	0,61	0,27
	10	36	16	6,9	4,2	3	0,8	0,35
12	45	20	8,6	5,3	3,7	1	0,44	
18	74	32	14	8,6	6,1	1,6	0,71	
doby	1	104	45	20	12	8,6	2,3	1
	2	240	104	45	45	20	5,3	2,3
	3	390	170	74	74	32	8,6	3,7
	4	550	240	104	104	45	12	5,3

Źródło: Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON 1991

W pierwszej kolejności określa się w jakiej strefie skażeń znalazły się wojska, a następnie, na podstawie czasu przebywania w strefie oraz czasu rozpoczęcia napromienienia, z odpowiedniej tabeli (innej dla każdej strefy) odczytuje się pochłoniętą dawkę promieniowania.

Jeżeli żołnierze znajdowali się w ukryciach (czołgach, schronach itp.) to otrzymaną dawkę promieniowania dzieli się przez stosowny współczynnik osłabienia ( $k_{osi}$ ). Przykładowe wartości współczynnika osłabienia ( $k_{osi}$ ) podano w tabeli 10.

Dla porównania należy zaznaczyć, że w ATP-45 również wykorzystuje się odpowiednie współczynniki. Są to: współczynnik transmisji (TF) oraz współczynnik osłabienia (PF) zwany niekiedy współczynnikiem korelacji (CF)<sup>19</sup>.

W celu określenia współczynnika transmisji należy dokonać pomiarów wewnątrz i na zewnątrz obiektu. Wartości współczynnika służą do ustalenia względnych własności ochronnych danego obiektu w stosunku do innych.

<sup>19</sup> TF – Transmission Factor;

PF – Protection Factor;

CF – Correlation Factor

Tabela 10

Średnie wartości współczynnika osłabienia dawki promieniowania ( $k_{ost}$ )

Ukrycia, środki transportowe, warunki rozmieszczenia (działania) wojsk	$k_{ost}$
nie ukryci żołnierze	1
<b>Urządzenia obronne</b>	
skażone, odkryte transzeje, okopy, szczeliny	3
dezaktywowane transzeje, okopy, szczeliny	20
przykryte szczeliny	50
schrony i schrony przedpiersiowe z drewnianym blokiem wejściowym	500
<b>Środki transportowe</b>	
samochody i autobusy	2
transportery opancerzone	4
czołgi	10
samoloty i śmigłowce	1,5
<b>Mieszkalne domy murowane</b>	
parterowe	10
piwnica	40
piętrowe	15
piwnica	100
dwupiętrowe	20
piwnica	400
<b>Mieszkalne domy drewniane</b>	
parterowe	2
piwnica	7
piętrowe	8
piwnica	12
<b>Budowle przemysłowe i administracyjne</b>	
parterowe hale produkcyjne	7
dwupiętrowe budowle produkcyjne i administracyjne	6

Źródło: Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON 1991

Oblicza się go stosując specjalny wzór.

$$\text{Współczynnik transmisji (TF)} = \frac{\text{Moc dawki promieniowania wewnątrz obiektu}}{\text{Moc dawki promieniowania na zewnątrz}}$$

Czasami używa się terminu współczynnik osłabienia -  $PF$  (lub inaczej współczynnik korelacji -  $CF$ ), który jest odwrotnością współczynnika transmisji.

$$PF \text{ (lub } CF) = \frac{1}{TF}$$

Przykładowe wartości współczynnika transmisji  $TF$  przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11

**Współczynniki transmisji osłabienia promieniowania różnych obiektów**

Rodzaj ukrycia	Współczynnik transmisji (TF)	Współczynnik osłabienia (PF)
<b>Pojazdy bojowe:</b>		
M1 Czołg	0,04	25
M48 Czołg	0,02	50
M60 Czołg	0,04	25
M2 IFV	0,2	5
M3 CFV	0,2	5
M113 Transporter opancerzony	0,3	3,33
M109 Haubica	0,2	5
M548 Pojazd dostawczy	0,7	1,43
M88 Pojazd remontowy	0,09	11,11
M577 Wóz dowodzenia	0,3	3,33
M551 Rozpoznawczy transporter opancerzony	0,2	5
M728 Bojowy wóz inżynieryjny	0,04	25
<b>Samochody ciężarowe o ładowności</b>		
1/4-tony	0,8	1,25
3/4-tony	0,6	1,67
2½-tony	0,6	1,67
4 - 7-ton	0,5	2
<b>Konstrukcje:</b>		
<b>Budynki wielopiętrowe:</b>		
najwyższe piętro	0,01	100
niższe piętra	0,1	10
<b>Budynki drewniane:</b>		
Pierwsze piętro	0,6	1,67
parter	0,1	10
<b>Teren zurbanizowany: (poza budynkami)</b>	0,7 <sup>1)</sup>	1,43 <sup>1)</sup>
<b>Drewno:</b>	0,8 <sup>1)</sup>	1,25 <sup>1)</sup>
<b>Schrony podziemne:</b>	0,0002	5000
<b>Przykryte szczeliny:</b>	0,1	10

<sup>1)</sup> Stosuje się w czasie pomiarów mocy dawki w terenie.

Źródło: Reporting nuclear detonations, biological and chemical attacks, and predicting and warning of associated hazard and areas, ATP-45, 1994

Z przedstawionych wyżej tabeli wynika, że wartości analogicznych współczynników nie zawsze są jednakowe. Jako przykład mogą służyć np.: czołgi, które w NATO mają współczynniki od 25 do 50 natomiast w Polsce tylko 10. Jednak już w przypadku transporterów opancerzonych mamy podobne wyniki tj. około 4.

Warto jednak zaznaczyć, że współczynniki natowskie wydają się być bardziej wiarygodne, gdyż odnosząc się do konkretnych egzemplarzy sprzętu mają indywidualny charakter. Jest to szczególnie przydatne np. w sytuacji posiadania transporterów opancerzonych M-113 oraz bojowych wozów inżynieryjnych. Pierwsze posiadają współczynnik 3,33, natomiast drugi aż 25. Różnica jest bardzo duża, toteż jej uwzględnienie, pozwala na uniknięcie wielu pomyłek podczas prognozowania skażeń.

Porównanie obu metod określania dawki pochłoniętej podczas przebywania w terenie skażonym nie byłoby pełne, gdyby zabrakło jakiegoś przykładu. Z tego względu do obliczeń przyjęto następujące dane:

- moc dawki promieniowania 1 h po wybuchu = 200 cGy/h;
- czas wejścia (początek napromienienia) = H + 1,5h;
- czas przebywania = 1h;
- stała rozpadu (nie znamy więc przyjmujemy średnią) = 1,2;
- żołnierze nie osłonięci (współczynniki osłabienia/korelacji) = 1.

W metodzie natowskiej łączymy punkt H+1,5h na skali  $T_e$  z punktem 1h na skali  $T_s$  i odczytujemy indeks (można go także odczytać z tabeli 8). Ma on wartość 0,45. Następnie łączymy punkt 0,45 indeksu z punktem 200 cGy na skali  $R_1$  i odczytujemy dawkę pochłoniętą 90 cGy.

W metodzie polskiej w pierwszej kolejności określamy strefę skażeń dla danego miejsca. Posługujemy się przy tym tabelą 12.

**Tabela 12**

**Średnie moce dawek promieniowania (cGy/h) na zewnętrznych granicach stref skażonych w różnym czasie po wybuchu**

Czas po wybuchu	Strefa skażona				Czas po wybuchu	Strefa skażona					
	A	B	C	D		A	B	C	D		
godziny	0,5	18	180	540	1800	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	11		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, MON 1991

Podstawiając do tabeli dawkę 200 cGy/h odczytujemy, że żołnierze znaleźli się w strefie B prawie na jej wewnętrznej granicy. Z kolejnej tabeli ( strona 56 metodyki ..) odczytujemy dawkę pochłoniętą 63 cGy. Jednak ze względu na fakt, iż żołnierze znaleźli się blisko wewnętrznej granicy strefy B otrzymaną wielkość dawki mnoży się przez 1,7.<sup>20</sup> W rezultacie otrzymujemy dawkę 107 cGy.

Otrzymane w wyniku obliczeń wielkości dawki pochłoniętej są zbliżone chociaż nie jednakowe. Jednak gdy zastosujemy drobną korektę, wynikającą z tego iż współczynnik 1,7 odnosi się do wewnętrznej granicy strefy B, to po jego proporcjonalnym zmniejszeniu np. do 1,5 otrzymamy dawkę pochłoniętą 94,5 cGy. Z przytoczonych wyliczeń wynika, że obie metodyki, mimo że bazują na innych narzędziach, dają jednakowe lub bardzo zbliżone wyniki.

#### **4.2. Określanie dawki pochłoniętej podczas przekraczania stref skażonych**

W działaniach bojowych z użyciem broni jądrowej wystąpią rozległe obszary skażone. Z tego względu ruch wojsk będzie znacznie utrudniony, przebiegając często przez strefy skażeń promieniotwórczych. Wymuszać to będzie konieczność częstego prognozowania dawek promieniowania na jakie narażeni będą żołnierze podczas przekraczania stref skażonych.

Bezpośrednie porównanie polskiej i natowskiej metody określania dawki promieniowania pochłoniętego podczas przekraczania stref skażonych nie jest możliwe ze względu na niekompatybilny charakter obu metod. Mimo to można pokusić się o wyliczenie niezbędnych wielkości (przydatnych potem do porównań) korzystając z nieco określonych sposobów obliczeń. Należy przy tym pamiętać, iż są to jedynie szacunkowe wyliczenia przygotowane tylko do tego konkretnego przypadku.

---

<sup>20</sup> W przypadku strefy A dawki na wewnętrznej granicy strefy są około 3,2 razy większe, a na zewnętrznej około 3,2 razy mniejsze od podanych w tabeli;

W przypadku strefy B dawki na wewnętrznej granicy strefy są około 1,7 razy większe, a na zewnętrznej około 1,7 razy mniejsze od podanych w tabeli;

W przypadku strefy C dawki na wewnętrznej granicy strefy są około 1,8 razy większe, a na zewnętrznej około 1,8 razy mniejsze od podanych w tabeli;

W przypadku strefy D dawki na zewnętrznej granicy strefy są około 1,8 razy mniejsze od podanych w tabeli – przypis autora

Zgodnie z metodą polską podstawą do obliczeń jest wrysowana sytuacja skażeń wraz z odpowiednimi strefami. Na podstawie mapy określa się środek odcinka drogi marszu przechodzącego przez strefy, jego odległość od rubieży wyjściowej, a także sumaryczną długość odcinków drogi w każdej z przekraczanych stref. Następnie oblicza się czas podejścia przez czoło kolumny do środka odcinka drogi. Na podstawie długości tych odcinków i prędkości marszu otrzymujemy czas przekraczania poszczególnych stref skażonych. Korzystając z odpowiednich tabeli (dla każdej strefy innej) odczytuje się dawki pochłoniętego promieniowania. Na koniec uwzględniając współczynnik osłabienia posiadanego sprzętu (pojazdów) oblicza się dawkę końcową.

W metodzie natowskiej jak już wiadomo nie występuje podział na określone strefy skażeń. Korzysta się jedynie z prawidłowości, że przy przekraczaniu obszaru skażonego, moc dawki będzie się zwiększać wraz z przybliżaniem do centrum obszaru skażenia, a zmniejszać się w miarę przybliżania do jego obrzeży. Dlatego też w celu obliczania dawki całkowitej określa się średnią moc dawki w czasie przekraczania strefy skażeń. Średnią wartość mocy dawki określa się z zależności:

gdzie: 
$$R_{avg} = \frac{R_{max}}{2}$$

$R_{avg}$  - średnia moc dawki;

$R_{max}$  - najwyższa stwierdzona lub spodziewana moc dawki.

Wartość średnia pozwala z wystarczającą dokładnością ustalać optymalny czas i trasy pokonania terenu skażonego. Można przy tym potraktować średnią moc dawki jak stałą moc dawki dla całej trasy. Dlatego wszystkie dalsze kalkulacje (np. pochłonięta dawka, optymalny czas wejścia) dotyczące przekraczania terenu skażonego można wykonać, stosując te same procedury jak dla przebywania w terenie skażonym.

W celu porównania obu metod przyjęto następujące dane:

- długość odcinków drogi w strefach:  
A – 60 km; B -40 km; C - 30 km; D – 20 km;
- prędkość marszu – 20 km/h;
- odległość rubieży wyjściowej od środka odcinka strefy skażonej – 80 km;
- żołnierze w transporterach opancerzonych;
- czas wymarszu H+ 1.

Metoda Polska:

Na wstępie na podstawie prędkości marszu i odległości oblicza się czas podejścia przez czoło kolumny do środka odcinka marszu. Będzie to umowny<sup>21</sup> początek napromienienia.

$$T_{pocz} = \frac{80}{20} + 1 = 5h$$

Znając długość odcinków drogi w każdej ze stref i prędkość marszu oblicza się czas przekraczania każdej strefy.

$$T_A = \frac{60}{20} = 3h \quad T_B = \frac{40}{20} = 2h \quad T_C = \frac{30}{20} = 1,5h \quad T_D = \frac{20}{20} = 1h$$

Na podstawie  $T_{pocz} = 5h$  i czasu przebywania w każdej strefie z odpowiednich tabeli odczytuje się dawki promieniowania, które pochłoną nie osłonięci żołnierze.

$$D_A = 8,1cGy \quad D_B = 33cGy \quad D_C = 80cGy \quad D_D = 180cGy$$

Obliczone dawki sumuje się i dzieli przez współczynnik osłabienia (dla transporterów opancerzonych  $k_{ost} = 4$ ).

$$\sum D = \frac{8,1 + 33 + 80 + 180}{4} \approx 75cGy$$

Metoda natowska:

Wszelkie obliczenia wykonuje się podobnie jak w przypadku przebywania w terenie skażonym. Podstawowym mankamentem, która utrudnia porównania jest brak określonych stref skażeń.

Aby porównanie było możliwe należy przetworzyć podane strefy skażeń na określone moce dawki promieniowania w danym miejscu, a następnie określić dawkę w każdym z tych miejsc lub wyznaczyć średnią moc dawki, na podstawie której obliczymy całkowitą dawkę pochłoniętą.

---

<sup>21</sup> Umowny - dlatego gdyż dla poszczególnych pododdziałów czas rozpoczęcia napromienienia jest różny, a nawet czoło kolumny i jej koniec ma różny czas. Z tego powodu konieczne by było określanie początku napromienienia dla każdego pododdziału osobno. Dla ułatwienia przyjmuje się wartość średnią – przypis autora.

Ze względu, iż w metodzie natowskiej musimy znać moc dawki promieniowania 1 h po wybuchu korzystamy z tabeli 12 odczytując średnie moce dawek w poszczególnych strefach godzinę po wybuchu<sup>22</sup>.

Strefa A = 36 cGy/h;

Strefa B = 160 cGy/h;

Strefa C = 280 cGy/h;

Strefa D = 1100 cGy/h

Kolejnym krokiem jest obliczenie czasu początku napromienienia oraz czasów przekraczania poszczególnych stref. Wyniki są analogiczne jak w metodzie polskiej. Czas początku napromienienia wynosi 5 h, a czasy przekraczania stref przedstawiono poniżej.

$$T_A = \frac{60}{20} = 3h \quad T_B = \frac{40}{20} = 2h \quad T_C = \frac{30}{20} = 1,5h \quad T_D = \frac{20}{20} = 1h$$

Następnie należy dla każdego przypadku odczytać indeksy z tabeli 8 przy  $n = 1,2$ .

Wynoszą one:

Strefa A = 0,33;    Strefa B = 0,24;    Strefa C = 0,18;    Strefa D = 0,13;

Po wymnożeniu otrzymujemy dawki:

Strefa A = 0,33 x 36 = **11,88 cGy**;    Strefa B = 0,24 x 160 = **38,4 cGy**;

Strefa C = 0,18 x 520 = **93,6 cGy**;    Strefa D = 0,13 x 1100 = **143 cGy**;

Łączna dawka po uwzględnieniu współczynnika osłabienia PF (tabela 11)<sup>23</sup> wynosi:

$$\sum D = \frac{11,88 + 38,4 + 93,6 + 143}{4} \approx 72cGy$$

Okazuje się, że wynik końcowy jest w obu metodach bardzo zbliżony i to mimo ich niekompatybilności. Jeżeli jednak zastosować metodą skróconą, w której wyznacza się tzw. średnią moc dawki to końcowe rezultaty mogą być inne. Przykładowo, przyjmując wcześniejsze dane, najwyższa stwierdzona moc dawki wynosi 1100 cGy/h. Obliczając wartość średnią, zgodnie z podanym wcześniej wzorem

<sup>22</sup> Przy obliczeniach mocy dawki w środku strefy D korzystano z proporcji występujących pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną granicą stref. Wynoszą one dla strefy A = 1:10, dla strefy B = 1:3, dla strefy C = 1:3,33, dla strefy D = 1:1,75 – przypis autora.

<sup>23</sup> Dla celów porównawczych współczynnik osłabienia przyjęto za 4, chociaż transporter opancerzony M-113 ma 3,33 a rozpoznawczy transporter opancerzony 5 – przypis autora.

otrzymujemy 550 cGy/h. Jeżeli potraktować średnią moc dawki jak stałą moc dawki dla całej trasy to należy obliczyć jedynie całkowity czas przebywania w terenie skażonym (we wszystkich strefach łącznie). Jeżeli długość trasy w terenie skażonym wynosi 150 km (60, 40, 30, 20), a prędkość marszu 20 km/h to czas przebywania w terenie skażonym dochodzi do 7,5 h.

Dla tak wyliczonych wartości indeks potrzebny do wyliczenia dawki całkowitej wynosi 0,6. Po podstawieniu do wzoru otrzymujemy:

$$0,6 \times 550 \text{ cGy} = 330 \text{ cGy}$$

a następnie:

$$\sum D = \frac{330}{4} = 82,5 \text{ cGy}$$

Otrzymany wynik, chociaż obliczony przy dość dużym stopniu uogólnienia także nie odbiega znacząco od wyników poprzednich. Jeżeli nie dysponujemy dużą ilością czasu, bądź nie posiadamy pełnych danych, wówczas takie skrócone metody określania dawki promieniowania dla wojsk przekraczających teren skażony mogą być wystarczające. Mimo to wydaje się jednak, że kalkulacje z uwzględnieniem poszczególnych stref skażeń są bardziej wiarygodne, w dużym stopniu ograniczając możliwość popełnienia błędu.

### 4.3. Określanie dopuszczalnego czasu przebywania w terenie skażonym

Kolejnym problemem, który często będzie występował podczas działania wojsk w terenie skażonym jest określenie maksymalnie dopuszczalnego czasu przebywania w strefach skażeń. Wiadomo bowiem, że określone dawki promieniowania wywierają negatywny wpływ na zdolność bojową żołnierzy a tym samym na możliwość dalszego ich wykorzystania w skażonym terenie.

W Polsce przyjmuje się, że dopuszczalnymi dawkami promieniowania, które nie powodują istotnych szkód<sup>24</sup> w organizmie są następujące dawki:

- dawka jednorazowa (do 4 dób) - 50 cGy;

---

<sup>24</sup> Istotne szkody to takie, które przeszkadzałyby żołnierzowi w wykonywaniu prostych czynności takich jak strzelanie, kopanie okopów itp. W przypadku zadań bardziej skomplikowanych wymagających dużej koncentracji i refleksu dopuszczalne dawki są dwa razy mniejsze (np.: dla pilotów) – przypis autora.

- dawka miesięczna - 100 cGy;
- dawka kwartalna - 200 cGy;
- dawka roczna - 300 cGy.

Tak określone dawki mogłyby być skutecznym miernikiem zdolności bojowej żołnierzy gdyby nie fakt, że każdy człowiek ma inną odporność organizmu i dzięki temu jego możliwości psychofizyczne są złożoną pochodną pochłoniętej dawki, ogólnej odporności organizmu oraz aktualnego stanu zdrowia.

Okazuje się więc, iż w miarę upływu czasu u każdego człowieka następuje samo regeneracja organizmu, w wyniku której pochłonięte dawki promieniowania ulegają neutralizacji. Uwzględnienie funkcji regeneracyjnej organizmu pozwala z kolei na obliczenie tzw. dawki biologicznie czynnej. Współczynniki do jej obliczania przedstawia tabela 13.

**Tabela 13**

**Współczynniki do obliczania dawki biologicznie czynnej**

Czas po napromienieniu (tygodnie)	Współczynnik przeliczeniowy
do 4 dób	1
1	0,9
2	0,75
3	0,6
4	0,5
5	0,42
6	0,35
7	0,3
8	0,25
9	0,2
10	0,17
11	0,15
12	0,13
14	0,1

Źródło: Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON 1991

Wyliczenie dawki biologicznie czynnej każdego żołnierza pozwala na dokładne zaplanowanie jego przyszłych działań w terenie skażonym, w taki sposób aby uniknąć nadmiernego napromienienia (powyżej dopuszczalnych wartości).

Dokumenty natowskie wyróżniają z kolei tzw. kategorie ekspozycji (Categories of Exposure) lub inaczej stany napromienienia. Stanowią one podstawę do określenia zdolności bojowej żołnierzy a tym samym do zakwalifikowania ich do określonego poziomu ryzyka. W ten sposób można uniknąć lub chociaż ograniczyć wysyłanie

żołnierzy, którzy już wcześniej byli napromienieni i grozi im utrata zdrowia lub nawet życia. Wyróżnia się cztery kategorie ekspozycji:

- RES-0<sup>25</sup> Jednostka nie była wcześniej napromieniona;
- RES-1 Jednostka pochłonęła dawkę większą niż 0 cGy lecz mniejszą lub równą 70 cGy;
- RES-2 Jednostka pochłonęła dawkę większą niż 70 cGy lecz mniejszą lub równą 150 cGy;
- RES-3 Jednostka pochłonęła dawkę większą niż 150 cGy

Stosownie do tego określone są trzy rodzaje ryzyka: nieistotne /Negligible/, średnie /Moderate/ i nadzwyczajne /Emergency/. Szczegółową charakterystykę poszczególnych stopni ryzyka przedstawia tabela 14.

**Tabela 14**

**Charakterystyka stopni ryzyka napromienienia**

STOPIEN RYZYKA	CHARAKTERYSTYKA
<p><b>NEGLIGIBLE</b> /NIEISTOTNY, ZNIKOMY/</p>	<p>Najniższa kategoria ryzyka. Dawka dopuszczalna wynosi od 0 do 50 cGy dla ludzi w RES-0. Straty nie występują lecz u 2,5% ludzi mogą się pojawić tzw. przykre efekty<sup>26</sup>. Jest to akceptowalny stopień ryzyka, lecz nie powinien być przekraczany.</p>
<p><b>MODERATE</b> /ŚREDNI, UMIAR- KOWANY/</p>	<p>Druga kategoria ryzyka. Dawka dla ludzi w stanie RES-0 wynosi 70 cGy. Zakłada się, że dawka nie powoduje strat, wystąpią jedynie u około 5% ludzi przykre efekty. Jeżeli wojska muszą działać z maksymalną efektywnością stopień nie może być przekroczony.</p>
<p><b>EMERGENCY</b> /NADZWYCZAJNY, NIEBEZPIECZNY/</p>	<p>Najwyższy stopień ryzyka, w którym dawka wynosi 150 cGy. Zakłada się 5% strat osobowych, a efekty przykre przekroczą 5%. Tak wysoki stopień ryzyka można zaakceptować jedynie w wyjątkowych sytuacjach, kiedy alternatywą jest tylko totalna klęska. Decyzja co do podjęcia odpowiedniego ryzyka należy do dowódcy.</p>

Źródło: Nuclear Contamination Avoidance, Washington 1994 r, s.1-7 oraz appendix A-2

<sup>25</sup> RES – Radiation Exposure Status – Stan napromienienia – określa całkowitą dawkę skumulowaną /cGy/ Zob. Nuclear Contamination Avoidance, Washington 1994 r, tabela A-3

<sup>26</sup> Przykre efekty – z angielskiego nuisance effects – to wymioty, oparzenia skóry, dzwonięcie w uszach, nudności i inne dolegliwości – przypis autora.

Znajomość stopni ryzyka umożliwia zaplanowanie działań w terenie skażonym, przy najniższych dopuszczalnych stratach. Przykładowe możliwości przedstawia tabela 15.

**Tabela 15**

**Ocena możliwości dopuszczalnego napromienienia wojsk**

STAN NAPROMIENIENIA	CAŁKOWITA DAWKA SKUMULOWANA /cGy/	Możliwe kryteria napromienienia nie powodujące przekroczenia odpowiedniego stopnia ryzyka
RES-0	brak	NEGLIGIBLE ≤ 50 MODERATE ≤ 70 EMERGENCY ≤ 150
RES-1	> 0 lecz ≤ 70	NEGLIGIBLE ≤ 10 MODERATE ≤ 30 EMERGENCY ≤ 110
RES-2	> 70 lecz ≤ 150	Dalsze napromienienie przekracza stany NEGLIGIBLE i MODERATE EMERGENCY ≤ 40
RES-3	≥ 150	Dalsze napromienienie przekracza stan EMERGENCY

Źródło: Nuclear Contamination Avoidance, Washington 1994 r, s.1-7 i appendix A-5

Z przedstawionych informacji wynika, że natowskie sposoby określania możliwości bojowych wojsk w warunkach skażeń promieniotwórczych niewiele się różnią od polskich. Różnice występują jedynie w szczegółach, podczas gdy istota rzeczy pozostaje taka sama.

Aby porównać sposoby określania czasu przebywania wojsk w terenie skażonym warto posłużyć się przykładem. Do obliczeń przyjęto:

- miejsce pododdziału – zewnętrzna granica strefy C;
- dopuszczalna dawka promieniowania - 50 cGy;
- współczynnik osłabienia (współczynnik korelacji) – 7;
- czas początku napromienienia – 1,5 h po wybuchu.

Obliczyć dopuszczalny czas przebywania.

Pierwszym krokiem jest obliczenie dopuszczalnej dawki promieniowania przy uwzględnieniu współczynnika osłabienia oraz współczynnika korygującego dawkę promieniowania na zewnętrznej granicy strefy C.

$$50 \text{ cGy} \times 7 \times 1,8 = 630 \text{ cGy}$$

Następnie z odpowiedniej tabeli odszukujemy  $t_{pocz}=1,5 \text{ h}$  oraz dawkę 630 cGy i odczytujemy dopuszczalny czas przebywania **8 godzin**.

W metodzie natowskiej, przy tych samych założeniach, nie mamy możliwości określenia czasu przebywania w terenie skażonym w sposób bezpośredni. Musimy najpierw określić jaka była moc dawki promieniowania w tym miejscu w godzinę po wybuchu. Korzystamy więc znowu z tabeli 120, z której wynika, że na zewnętrznej granicy strefy C moc dawki promieniowania w godzinę po wybuchu ( $R_1$ ) wynosiła:

$$R_1 = 240 \text{ cGy/h.}$$

W następnym kroku obliczamy dopuszczalną dawkę promieniowania (dawkę całkowitą D) przy uwzględnieniu współczynnika korelacji ( $CF = 7$ ).

$$D = 50 \text{ cGy} \times 7 = 350 \text{ cGy}$$

Po podstawieniu wyliczonych danych  $R_1 = 240 \text{ cGy/h}$  i  $D = 350 \text{ cGy}$  do nomogramu z rysunku 19 określamy indeks, który wynosi 1,46. Następnie łączymy wartość indeksu z czasem wejścia  $T_e$  (początek napromienienia) i odczytujemy czas przebywania w terenie skażonym  $T_s = 8 \text{ h}$ .

Nieoczekiwanie okazuje się, że mimo zastosowania odmiennych narzędzi obliczeniowych i wykorzystania określonych sposobów dochodzenia do wyniku końcowego jest on identyczny w obu metodach.

#### **4.4. Określanie dopuszczalnego czasu wejścia w teren skażony**

Naziemne wybuchy jądrowe to główne źródło promieniotwórczego skażenia terenu. Skażenia te, w zależności od ilości i mocy wybuchów, mogą obejmować ogromne obszary terenu, utrudniając lub uniemożliwiając w ten sposób bezpieczne prowadzenie działań bojowych. Ograniczają także możliwość wykonywania wszelkich manewrów na skażonych obszarach i nie pozwalają na pełne wykorzystanie potencjału bojowego. W takiej sytuacji decydującym momentem będzie decyzja o wkroczeniu w teren skażony. Od jej trafności zależeć będzie w jakim stopniu żołnierze zostaną napromienieni i w rezultacie czy będą w stanie wykonywać dalsze zadania bojowe. Z tych powodów określenie dopuszczalnego czasu wejścia w teren skażony jawi się jako zadanie o najwyższym priorytecie.

Przystępując do porównania polskiej i natowskiej metody określania czasu wejścia w teren skażony należy powiedzieć, że w obu przypadkach korzysta się z takich samych metod prowadzenia obliczeń jak w poprzednim przykładzie.

W celu porównania obu metod do obliczeń przyjęto takie same dane wyjściowe jak poprzednio (zamieniono jedynie czas początku napromienienia na czas przebywania w terenie skażonym). Są to:

- miejsce pododdziału – zewnętrzna granica strefy C;
- dopuszczalna dawka promieniowania - 50 cGy;
- współczynnik osłabienia (współczynnik korelacji) – 7;
- czas przebywania – 8 h.

Obliczyć czas początku napromienienia (czas wejścia w teren skażony).

Na początku obliczamy dopuszczalną dawkę promieniowania przy uwzględnieniu współczynnika osłabienia oraz współczynnika korygującego dawkę promieniowania na zewnętrznej granicy strefy C.

$$50 \text{ cGy} \times 7 \times 1,8 = 630 \text{ cGy}$$

Następnie z odpowiedniej tabeli odszukujemy  $T=8$  h oraz dawkę 630 cGy i odczytujemy czas wejścia w teren skażony **1,5 godziny po wybuchu**.

Metoda natowska opiera się na mocy dawki promieniowania wyliczonej na godzinę po wybuchu. Korzystamy więc znowu z tabeli 12, z której wynika, że na zewnętrznej granicy strefy C moc dawki promieniowania w godzinę po wybuchu ( $R_1$ ) wynosiła:

$$R_1 = 240 \text{ cGy/h.}$$

Następnie obliczamy dopuszczalną dawkę promieniowania (dawkę całkowitą D) przy uwzględnieniu współczynnika korelacji ( $CF = 7$ ).

$$D = 50 \text{ cGy} \times 7 = 350 \text{ cGy}$$

Po podstawieniu wyliczonych danych  $R_1 = 240$  cGy/h i  $D = 350$  cGy do nomogramu z rysunku 19 określamy indeks, który wynosi 1,46. Następnie łączymy wartość indeksu z czasem wejścia  $T_s$  (czas przebywania w terenie skażonym) i odczytujemy czas początku napromienienia (wejścia w teren skażony)  $T_e = 1,5$  h.

Wniosek końcowy jest identyczny jak w poprzednim przypadku, gdyż w obu metodach otrzymano identyczne wyniki. Warto dodać, że identyczne wyniki otrzymano także po podstawieniu innych danych liczbowych, zachowując przy tym przedstawioną wyżej procedurę obliczeń.

#### 4.5. Określenie dopuszczalnego czasu wyjścia z terenu skażonego

Skażenie promieniotwórcze zawsze będzie stanowić poważne zagrożenie dla jednostek znajdujących się w skażonym obszarze. Z tego powodu konieczne jest wykorzystanie wszelkich możliwych ukryć, które chociaż w minimalnym stopniu ograniczą możliwość napromienienia wojsk. Dla żołnierzy znajdujących się w tym terenie najlepszym środkiem ochronnym są schrony, które charakteryzują się zazwyczaj wysokim współczynnikiem osłabienia promieniowania (niskim współczynnikiem transmisji). Jeśli schron zapewnia dostateczną ochronę, korzystniej będzie pozostać w nim i starać się poprawić jego własności ochronne, niż natychmiast ewakuować się do nieskażonego terenu. W ten sposób, ewakuując się w czasie optymalnym do wyjścia, dawka pochłonięta przez żołnierzy, ograniczona zostanie do minimum. Określenie optymalnego czasu wyjścia z terenu skażonego nie jest jednak zadaniem łatwym. Zarówno w metodzie polskiej jak i natowskiej podejmuje się próby określenia takiego czasu, chociaż sposoby ich wykonania są zgoła odmienne.

Metoda natowska bazuje na różnicy pomiędzy właściwościami ochronnymi poszczególnych obiektów, wyliczając moment, w którym dłuższe przebywanie w terenie skażonym (ale w obiekcie o lepszych właściwościach ochronnych) nie ma już większego sensu, natomiast w metodzie polskiej rozważania toczą się w obrębie założonej dawki promieniowania i czasu przekraczania poszczególnych stref skażeń. Ze względu na całkowitą odmienną celów i sposobów wykonania tego zadania obie metody zostaną jedynie przedstawione, bez próby ich bezpośredniego porównania.

W metodzie natowskiej do określenia optymalnego czasu wyjścia ze strefy skażeń należy znać: czas wybuchu, odległość od granicy skażonego obszaru, średni współczynnik transmisji i czas wyjścia.

Podstawowa zasada polega na zatrzymaniu wojsk w dotychczasowych ukryciach do czasu zakończenia opadu promieniotwórczego. Pozwoli to na uniknięcie bezpośredniego skażenia ludzi, sprzętu i materiałów, a tym samym narażenia ich na pochłonięcie dodatkowych dawek promieniowania.

Pierwszym krokiem w obliczeniach jest określenie średniego współczynnika transmisji promieniowania (RT). Do jego wyliczenia służą: współczynnik transmisji dla ukryć w terenie skażonym (FTS) oraz współczynnik transmisji po opuszczeniu ukryć

(FTM) (np.; dla samochodów, transporterów itp.). Ponieważ każdy schron jest inny, powinno się stosować średnią wartość współczynnika transmisji. W przypadku pojazdów można posłużyć się danymi tabelarycznymi. Wojska poruszające się pieszo będą w pełni narażone na działanie promieniowania i w tym przypadku współczynnik osłabienia będzie wynosił 1.

Średni współczynnik transmisji wylicza się z zależności:

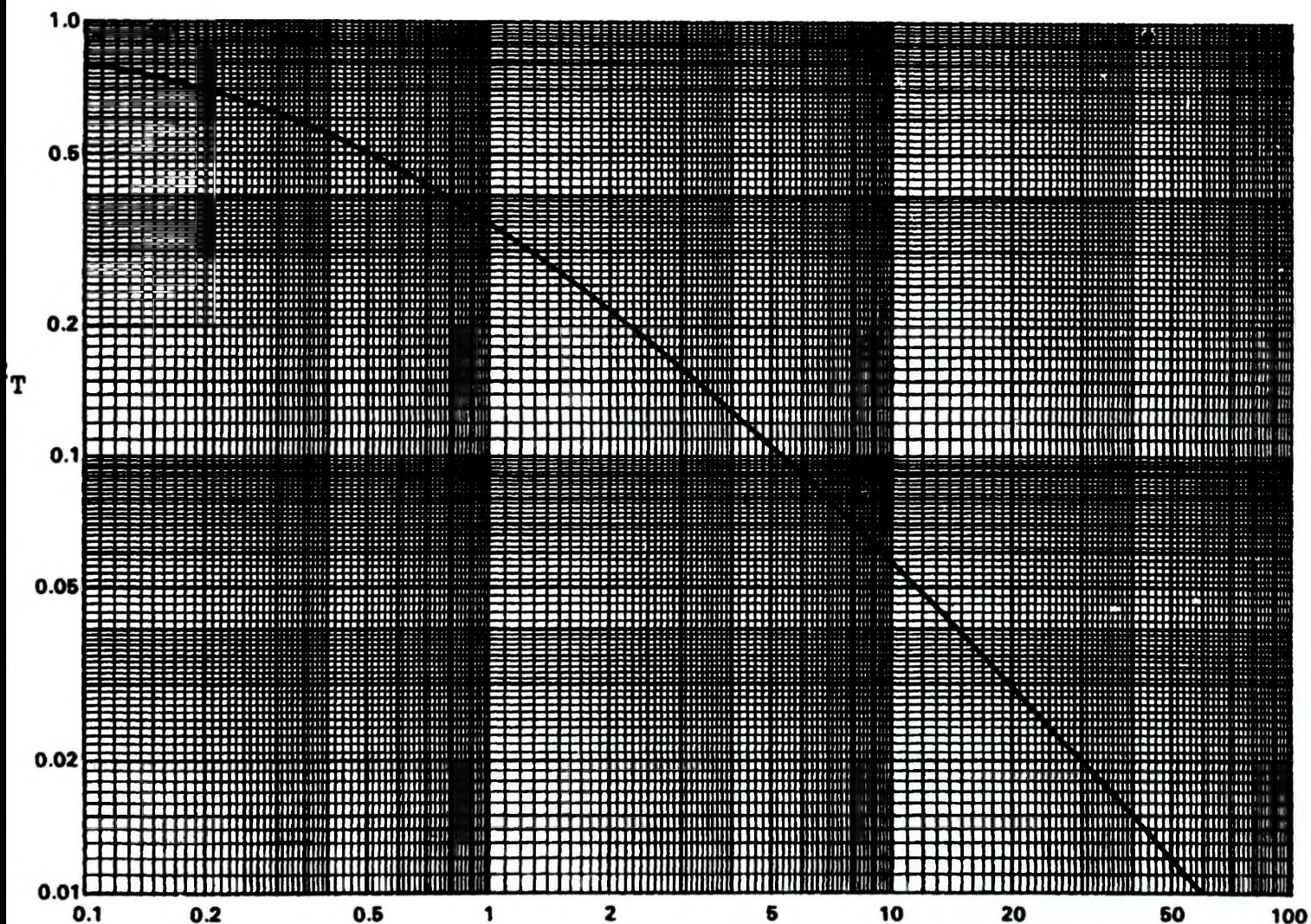
$$RT = \frac{FTS}{FTM}$$

w której:

*FTS* - średni współczynnik transmisji promieniowania dla schronów znajdujących się na terenie opadu;

*FTM* - średni współczynnik transmisji po opuszczeniu schronów (w czasie przemieszczania się poza obszar skażony);

Współczynnik *RT* służy z kolei do określenia kolejnego współczynnika - *MF* (tzw. mnożnika). Do tego celu służy wykres przedstawionego na rysunku 20.



Rysunek 20 Diagram do określania współczynnika mnożenia

Ostatnim brakującym ogniwem niezbędnym do obliczenia czasu wyjścia ze stref skażeń jest czas ewakuacji  $T_{ew}$ . Jest to czas potrzebny do zajęcia miejsca w pojazdach, załadowania środków materiałowych i opuszczenia skażonego obszaru. Aby ograniczyć czas narażenia na promieniowanie, konieczne może się okazać czasowe pozostawienie mniej istotnych rzeczy i odzyskanie ich w późniejszym terminie, gdy dawka spadnie do wartości dopuszczalnych.

Optymalny czas wyjścia oblicza, się korzystając z zależności:

$$T_{opt} = MF \times T_{ev}$$

w której:

$MF$  - współczynnik mnożenia ustalany na podstawie rysunku 20;

$T_{ev}$  - czas potrzebny do ewakuacji ze skażonego obszaru, w godzinach;

Przyjmuje się, że wojska powinny ewakuować się jak najszybciej ze strefy skażeń, gdy średni współczynnik transmisji  $RT$  zbliża się do 0,5 lub jest większy. Gdy z obliczeń wynika, że optymalny czas wyjścia może nastąpić przed pojawieniem się opadu promieniotwórczego, to wojska powinny się ewakuować najszybciej, jak jest to możliwe zaraz po zakończeniu opadu.

Najmniejszą dawkę promieniowania otrzymają żołnierze jeśli opuszczą teren skażony w wyliczonym, optymalnym czasie wyjścia. Jeżeli jednak jest to z jakichś względów niemożliwe, a dowódca akceptuje dziesięcioprocentowy wzrost dawki, to można nakazać opuszczenie schronów między połową a dwukrotnością optymalnego czasu wyjścia. W takim przypadku żołnierze powinni w miarę możliwości wzmocnić zabezpieczenie schronów. Jeżeli to się uda, a poprawa właściwości ochronnych będzie znaczna, wówczas szacunkowy czas wyjścia powinien być obliczony ponownie.

Dla zilustrowania metody posłużono się przykładem:

Dane:

$F_{TS}$  - 0,1 (okop);  $F_{TM}$  - 0,6 (2,5-tonowa ciężarówka);  $T_{ev}$  - 1 h

Sposób rozwiązania:  $RT = 0,1/0,6 = 0,167$

$$MF = 2,80$$

$$T_{opt} = MF \times T_{ev} = 2,80 \times 1 \text{ godz.} = 2,8 \text{ h} \quad \text{czyli 2 h i 48 min}$$

Metoda polska jest metodą, która nastawiona jest na optymalny czas rozpoczęcia marszu z rubieży wyjściowej (wyjścia z terenu skażonego), ale taki, który nie pozwoli przekroczyć ustalonej dawki promieniowania. Ogólnie można stwierdzić, iż metoda ta jest kompilacją obliczania czasu przebywania w terenie skażonym oraz czasu przekraczania stref. Podobnie jak wcześniej podstawą do obliczeń są:

- wrysowana na mapę sytuacja promieniotwórcza z drogą marszu;
- prędkość marszu;
- rodzaj środków transportowych<sup>27</sup>;
- ustalona dawka promieniowania ( $D_{ust}$ ).

Pierwszym elementem do wykonania jest ustalenie parametrów drogi marszu a szczególnie: środka odcinka drogi marszu przechodzącego przez strefy skażeń, odległości środka odcinka od rubieży wyjściowej, sumarycznej długości drogi marszu w każdej z przekraczanych stref. Wszystkie te parametry ustala się na podstawie mapy z wrysowaną sytuacją skażeń.

Następnie wylicza się czas trwania marszu przez każdą strefę skażeń. Dla uproszczenia obliczeń zakłada się, że czas rozpoczęcia napromienienia ( $t_{pocz}$ ) równy jest czasowi podejścia czoła kolumny do środka odcinka drogi przechodzącej przez strefy skażone i wynosi 1 godzinę.

Kolejnym krokiem jest obliczenie pochłoniętych dawek promieniowania podczas przekraczania poszczególnych stref, ich zsumowanie i podzielenie przez współczynnik osłabienia. Korzysta się przy tym ze wzoru:

$$\sum D = \frac{D_A + D_B + D_C + D_D}{k_{osl}}$$

Jeżeli początek drogi marszu znajduje się w strefie skażonej to do obliczonej dawki  $D$  dodaje się dawkę, którą pochłona żołnierze podczas wsiadania do środków transportowych. Oblicza się ją z tabeli 16.

W dalszej kolejności oblicza się stosunek dawki ustalonej ( $D_{ust}$ ) do dawki sumarycznej ( $\sum D$ ) i mnoży przez tabelaryczną wartość dawki promieniowania otrzymanej w strefie o największym skażeniu ( $D_{nieb}$ ). Obliczoną w ten sposób dawkę podstawia się do odpowiedniej tabeli (strefa o największym skażeniu) i określa się dopuszczalny czas podejścia przez czoło kolumny do środka odcinka drogi marszu leżącego

---

<sup>27</sup> A właściwie ich współczynnik osłabienia – przypis autora.

w strefach skażonych. Biorąc pod uwagę czas trwania marszu do środka odcinka drogi oblicza się czas rozpoczęcia marszu z rubieży wyjściowej.

Tabela 16

**Dawki promieniowania (cGy) pochłonięte przez żołnierzy w czasie wsiadania do środków transportowych w środku stref skażonych**

Czas rozpoczęcia wsiadania od chwili wybuchu		strefa A			strefa B			strefa C			strefa D		
		do samochodów	do BWP	do czołgów	do samochodów	do BWP	do czołgów	do samochodów	do BWP	do czołgów	do samochodów	do BWP	do czołgów
minuty	10	30	25	21	155	125	115	405	340	295	1470	1220	1120
	20	15	12	10	85	65	55	215	170	140	830	660	570
	30	11	9	7	55	45	40	140	110	90	500	400	330
godziny	1	5	4	3	26	17	16	70	50	40	240	190	150
	1,5	3	2	2	17	13	11	45	35	30	165	130	115
	2	2	2	1	13	10	8	30	25	20	120	85	80
	3	2	1	-	6	6	5	20	15	12	70	50	40
	4	1	-	-	5	4	3	14	10	8	50	40	30
	6	-	-	-	3	2	2	9	6	5	35	30	25
	8	-	-	-	3	2	1	6	5	4	25	20	15
	10	-	-	-	2	1	-	5	4	3	16	12	10
	12	-	-	-	1	-	-	4	3	2	14	11	9
	18	-	-	-	-	-	-	3	2	1	9	6	5
24	-	-	-	-	-	-	1	-	-	6	5	4	

Uwaga: podane w tabeli dane dotyczą następujących warunków: żołnierze w terenie skażonym są nie ukryci przez 5 – 7 minut (wsiadanie) i przez 10 – 15 minut znajdują się w wozach bojowych lub na innych środkach transportowych (formowanie kolumny w rejonie rozmieszczenia)

Źródło: Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON 1991

Podobnie jak poprzednio dla zilustrowania metody posłużono się przykładem:

Dane:

*prędkość marszu = 20 km/h; dopuszczalna dawka promieniowania = 20 cGy;*

*odległość rubieży wyjściowej od środka odcinka drogi w skażonym terenie = 60 km;*

*długość marszu w strefie A = 50 km, w strefie B = 40 km, w strefie C = 20 km;*

*Obliczyć czas rozpoczęcia marszu z rubieży wyjściowej ( $t_{wyj}$ ).*

Sposób rozwiązania:

czas trwania marszu w poszczególnych strefach:

$$T_A = \frac{50}{20} = 2,5h \quad T_B = \frac{40}{20} = 2h \quad T_C = \frac{20}{20} = 1h$$

Dawka sumaryczna otrzymana po przekroczeniu każdej ze stref, przy uwzględnieniu współczynnika osłabienia:

$$\sum D = \frac{27,5 + 138 + 280}{2} = 223 \text{ cGy}$$

następnie:

$$\frac{D_{ust}}{\sum D} \times D_{nieb} = \frac{20}{223} \times 280 = 25 \text{ cGy}$$

tak wyliczona dawka jest podstawiana do tabeli<sup>28</sup>, w której dla czasu przebywania w strefie C = 1h dopuszczalny czas podejścia czoła kolumny do środka odcinka drogi marszu w terenie skażonym wynosi 10 h.

Ostatnim etapem obliczeń jest wyznaczenie czasu wymarszu z rubieży wyjściowej. W tym przypadku wynosi on:

$$t_{wyj} = 10 - \frac{60}{20} = 7h$$

Przedstawiony przykład pokazuje sposób określenia czasu rozpoczęcia marszu przez strefy skażone przy uwzględnieniu założonej dawki promieniowania. W przypadku wychodzenia ze stref skażonych niezbędne będzie bardziej elastyczne podejście do określenia trasy i czasu marszu. Należy się spodziewać, że każdy przypadek trzeba będzie rozpatrywać indywidualnie<sup>29</sup>.

Jak widać z przedstawionych przykładów metody obliczania optymalnego czasu wyjścia z terenu skażonego są całkowicie niekompatybilne i nie nadają się do

---

<sup>28</sup> Tabela do określania dawki pochłoniętej przez nie ukrytych żołnierzy rozmieszczonych na śladzie obłoku w środku poszczególnych stref skażonych – przypis autora.

<sup>29</sup> Sposób rozpatrywania każdego przypadku zależy będzie od różnorodnych czynników m.in. od charakteru strefy, z której żołnierze będą wychodzić, rodzaju ukryć w strefie przebywania (wielkość współczynnika osłabienia), kierunku wychodzenia ze strefy (konieczności wchodzenia w strefy niebezpieczniejsze) oraz w przypadku, gdy przekraczanie stref może być zbyt niebezpieczne, możliwości długotrwałego przebywania w aktualnie zajmowanym terenie – przypis autora.

wzajemnych porównań. Mogą za to służyć do osobnego rozpatrywania różnorodnych problemów związanych z przemieszczaniem się w terenie skażonym.

#### **4.6. Ocena strat w ludziach**

W poprzednich rozdziałach przedstawione zostały sposoby kalkulacji różnorodnych zadań w terenie skażonym. Od ich dokładności i wiarygodności zależeć będzie jaką dawkę promieniowania pochłoną wojska, które zmuszone zostały do prowadzenia działań w terenie skażonym. Dawki te będą z kolei podstawą do prowadzenia dalszych kalkulacji związanych z zachowaniem zdolności bojowej zarówno pojedynczych żołnierzy jak i całych pododdziałów, oddziałów i związków taktycznych. Wiadomo bowiem, że pochłonięcie odpowiedniej dawki promieniowania w określonym czasie wywoływać będzie różnorodne efekty od drobnej niedyspozycji zaczynając a na śmierci kończąc. Do określania strat w zależności od pochłoniętej dawki służą specjalne tabele. W NATO zgodnie ze Stanagiem 2083 określa się biologiczne efekty promieniowania. Przedstawia to tabela 17.

Oprócz tego wyróżnia się trzy poziomy utraty zdolności bojowej. Są to: Natychmiastowa Trwała Niezdolność (IPI), Natychmiastowa Przemijająca Niezdolność (ITI) oraz Niezdolność Utajona (LI)<sup>30</sup>.

Natychmiastowa Trwała Niezdolność - Po pochłonięciu dawki 8000 cGy stan osobowy staje się niezdolny do działania w przeciągu 3 min ekspozycji, pozostając niezdolny do jakichkolwiek działań aż do śmierci, która nastąpi w ciągu 24 godz.

Natychmiastowa Przemijająca Niezdolność - Po pochłonięciu dawki 3000 cGy (przez żołnierzy, których zadania wymagają wysiłku fizycznego) lub 3800 cGy (przez żołnierzy, których zadania nie wymagają wysiłku fizycznego) stan osobowy staje się niezdolny do działania w przeciągu 3 min ekspozycji i pozostaje tak przez 7 minut. Po 10 minutach żołnierze odzyskują swoją zdolność wykonywania zadań (około 75% pierwotnej wartości) i utrzymują ją przez około 30 minut. Potem ich wydolność gwałtownie spada, pozosta-

---

<sup>30</sup> IPI - Immediate Permanent Ineffectiveness;

ITI - Immediate Transient Ineffectiveness;

LI – Latent Ineffectiveness lub LL – Latent Lethality.

jąc tak przez 5 godzin (u żołnierzy, których zadania nie wymagają wysiłku fizycznego) lub 2 godziny (u żołnierzy, których zadania wymagają wysiłku fizycznego) do czasu, w którym choroba popromienna uczyni ich całkowicie niezdolnymi do wykonywania jakichkolwiek zadań. Śmierć następuje zazwyczaj w ciągu 5 – 6 dni.

Tabela 17

### Biologiczne efekty promieniowania

Dawka promieniowania cGy	Czas i 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 g. 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
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 g. 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 g. 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 g. ; 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% śmierci w ciągu 2-3 tygodni; 3000 cGy -100% śmierci 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% śmierci w ciągu 2-3 dni;
>8000	W przeciągu pierwszych 3 minut poważne i przedłużające się nudności, wymioty, omdlenia, zawroty głowy, ból głowy, dezorientacja, brak równowagi płynów i zapaść	DT i UT: CI od 3 min do śmierci	Opieka medyczna potrzebna natychmiast 8000 cGy - 100% śmierci w ciągu 1dnia;

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, Washington 1998.

## Niezdolność Utaiona -

1. *Zadania nie wymagające użycia siły fizycznej* – Po pochłonięciu dawki 600 cGy wydolność ludzi obniża się znacznie w ciągu 3 godz. ekspozycji i pozostaje tak przez około 2 dni po napromienieniu, po czym przechodzą oni 6 - dniowy okres odzyskania zdolności bojowej. Po 8 dniach po napromienieniu stan osobowy ponownie traci zdolność bojową i pozostaje w tym stanie około 4 tygodni po napromienieniu. W tym czasie u ludzi zaczną występować objawy ciężkiej choroby popromiennej czyniąc ich niezdolnymi do pracy. Pozostają niezdolni aż do śmierci, która następuje po około 6 tygodniach po napromienieniu.
2. *Zadania wymagające użycia siły fizycznej* – Po pochłonięciu dawki 450 cGy wydolność ludzi obniża się w ciągu 2 godzin ekspozycji i pozostaje tak przez 3 tygodnie, po czym zaczynają występować u nich symptomy ciężkiej choroby popromiennej czyniąc ich niezdolnymi do pracy. W tym stanie pozostają aż do śmierci, która następuje po około 6 tygodniach po napromienieniu.

W celu pełnego zrozumienia omawianych problemów warto także przytoczyć definicje pojęć: Niezdolność bojowa (CI) oraz Obniżenie wydolności (PD)<sup>31</sup>.

Niezdolność bojowa - stan osobowy funkcjonuje na poziomie 25% swojej poprzedniej wydolności. W wyższych zakresach dawki niezdolność bojowa objawia się szokiem i śpiączką, natomiast w dolnym zakresie dawki, na skutek dezorientacji umysłowej i fizycznego upośledzenia przejawia się poprzez znaczne spowolnienie ruchów.

Obniżenie wydolności - stan osobowy funkcjonuje na poziomie pomiędzy 25% - 75% swojej poprzedniej wydolności. Żołnierze cierpią na ostrą chorobę popromienną przebiegającą z różnym natężeniem i w różnym czasie. Objawia się to poprzez wymioty, biegunkę, nadciśnienie, nudności, letarg, depresję i dezorientację umysłową.

W Wojsku Polskim również stosuje się odpowiednią tabelę, dzięki której można, w pewnym przybliżeniu, określić ewentualne straty w ludziach (utrata zdolności bojowej różnego stopnia aż do śmierci) spowodowane pochłonięciem określonej

---

<sup>31</sup> CI - Combat Ineffective;

PD - Performance degraded;

dawki promieniowania. Jej skróconą wersję przedstawia tabela 18.

Tabela 18

**Sumaryczne straty żołnierzy w czasie od początku napromienienia  
w zależności od pochłoniętej dawki promieniowania (%)**

Dawka promieniowania cGy	Początek napromienienia (t <sub>pocz</sub> )	Czas przebywania w strefie (T)	Czas wystąpienia utraty zdolności bojowej od początku napromienienia						Śmiertelność (%)
			godziny			doby			
			3	6	12	1	14	30	
100	do 4 dób	do 4 dób	-	-	-	-	-	pojed. przyp.	-
125	do 4 dób	do 4 dób	-	-	-	-	-	5	-
150	do 4 dób	do 4 dób	-	-	-	-	-	15	-
175	do 4 dób	do 30 min	1	3	3	3	3	32	-
		1 godz.	-	3	3	3	3	32	-
		2 godz.	-	1	3	3	3	32	-
		6 godz.	-	-	3	3	3	32	-
		1 doba	-	-	-	2	3	32	-
200	do 4 dób	30 min	2	5	5	5	5	50	pojed. przyp.
		1 godz.	1	5	5	5	5	50	
		2 godz.	-	4	5	5	5	50	
		6 godz.	-	-	5	5	5	50	
		1 doba	-	-	-	4	5	50	
250	do 1 godz	10 min.	8	10	10	10	10	85	10
		2 godz.	1	9	10	10	10	85	
		12 godz.	-	2	10	10	10	85	
		1 doba	-	-	5	9	10	85	
300	do 30 min	30 min	12	20	20	20	20	100	20
		6 godz.	1	9	20	20	20	100	
		1 doba	-	4	11	18	20	100	
		4 doby	-	3	7	12	20	100	
400	10 min	10 min	32	40	40	40	40	100	40
		3 godz.	11	33	40	40	40	100	
		1 doba	1	11	26	38	40	100	
		4 doby	-	7	18	28	40	100	
500	20 min	10 min	52	60	60	60	60	100	70
		3 godz.	20	53	60	60	60	100	
		1 doba	3	18	40	56	60	100	
		4 doby	1	11	28	42	60	100	
600	10 min	20 min	69	80	80	80	85	100	100
		6 godz.	23	57	80	80	85	100	
		1 doba	15	37	61	77	85	100	
		4 doby	9	28	48	61	85	100	

Źródło: Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON 1991

Z informacji zawartych w tabelach 17 i 18 wynika, że bezpośrednio ich porównanie nie jest możliwe. Dzieje się tak, gdyż sposób prezentacji danych jest nieco odmienny. Podstawową różnicą wynika z różnych sposobów przedstawienia dawek promieniowania pochłoniętego przez żołnierzy. W przypadku metodyki natowskiej widzimy wyraźne przedziały dawek promieniowania, w których opisane są określone objawy i czas ich trwania. W metodyce polskiej objawy i czas ich trwania przypisane są do każdej pochłoniętej dawki promieniowania i to dla różnych czasów przebywania w terenie skażonym, w różnym czasie po wybuchu. Oczywiście jest, że ten drugi sposób, będąc dokładniejszy, pozwala w bardziej wiarygodny sposób przewidywać przyszłe straty i utratę zdolności bojowej wojsk. Ostatecznie jednak straty zależą będą głównie od odporności poszczególnych żołnierzy i wielu innych, często niewymiernych czynników. Z tego powodu przyjmuje się, że zarówno jedna jak i druga metoda spełnia rolę pomocniczą, służąc jedynie do bardzo powierzchownych kalkulacji.

Wiadomo jest, że głównym celem każdego dowódcy na polu walki jest wykonanie zadania, choć nie zawsze jest to łatwe. Prawdziwą jednak sztuką jest wykonanie zadania i jednocześnie utrzymanie dawki napromienienia na jak najniższym poziomie. Można to osiągnąć na wiele sposobów. Do najważniejszych należą:

- *Unikanie skażonego obszaru.* Gdy nie można uniknąć przebywania w rejonie skażenia, w którym stwierdzono na podstawie pomiarów określoną moc dawki, to należy wybierać trasę o najniższym poziomie mocy dawki, a do wykonania zadania należy wyznaczać jak najmniejszą ilość żołnierzy.
- *Skracanie czasu narażenia na działanie promieniowania.* Należy tak zaplanować działania, aby zminimalizować czas przebywania w terenie skażonym. Trasy przegrupowania powinny być wybierane w taki sposób, aby zapewnić możliwość szybkiego i łatwego przemieszczania się.
- *Opóźnienie czasu wejścia w teren skażony.* W miarę możliwości należy opóźniać przekraczanie terenu skażonego, gdyż skażenie promieniotwórcze spada w czasie.
- *Wykorzystanie osłon.* Wszystkie pojazdy powinny być wyposażone w dodatkowe osłony przed promieniowaniem jonizującym. Pokonywanie terenu pieszo należy stosować jako ostateczny z możliwych sposobów.

## ZAKOŃCZENIE

Stosowanie na współczesnym polu walki broni o dużej sile rażenia skierowane było zawsze na zadanie przeciwnikowi maksymalnych strat, osłabienie jego ducha walki i rozbicie potencjału gospodarczego wrogiego państwa. W tym aspekcie użycie broni jądrowej wydawać się może aż nadto realne.

Skażenia promieniotwórcze pokrywające ogromne obszary, w których toczą się zmagania to prawdopodobnie nieodzowny element takich działań. Aby ograniczyć ich skutki należy wpieryw poznać charakter skażeń a następnie określić bezpieczne warunki realizacji zadań. Do tego celu niezbędne są prognozy skażeń.

Celem niniejszej pracy była *„analiza polskich i natowskich metod prognozowania skażeń promieniotwórczych, wyodrębnienie podobieństw i rozbieżności oraz określenie poziomu ich wzajemnej kompatybilności”*.

Tak sprecyzowany cel starano się osiągnąć poprzez znalezienie odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

Jakie podobieństwa i rozbieżności występują w „radzieckiej” i „natowskiej” metodzie prognozowania skażeń promieniotwórczych? Czy istnieje możliwość „kompilacji” analizowanych metod prognozowania skażeń? Które elementy prognozy skażeń promieniotwórczych mają charakter zasadniczy, a które drugorzędny? Czy w obecnym układzie polityczno – militarnym stosowane dotychczas metody prognozowania skażeń promieniotwórczych utraciły rację bytu?

Wstępne odpowiedzi na powyższe pytania zostały przedstawione w hipotezie roboczej. Przeprowadzone badania potwierdziły wszystkie tezy i tym samym umożliwiły osiągnięcie założonego celu badań. Odpowiedzi na pytania szczegółowe są następujące:

1. Zasady prognozowania skażeń promieniotwórczych wywodzą się z dwóch przeciwstawnych bloków wojskowych i z tego względu wykorzystują odmienne metody do kalkulacji. Metoda natowska bazuje na jednej metodyce ATP-45, natomiast w Polsce jest ich kilka.

2. 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.

3. Zdecydowanie odmienny charakter ma sposób odwzorowania stref skażeń. Różnice występują nie tylko w parametrach poszczególnych stref lecz także w liczbie i idei ich określania. Zdaniem autora 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 pozwala dopatrzeć się pewnych analogii. Okazuje się bowiem, 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. Rozważanie te mają jednak drugorzędne znaczenia gdyż i tak dopiero wykorzystanie wyników pomiaru mocy dawki w terenie daje wiarygodny obraz skażeń.

4. Zasadnicze kalkulacje, związane z określaniem dawki pochłoniętej podczas działania w strefach skażonych dowodzą, że mimo całkowicie odmiennych sposobów obliczeń, można otrzymać jeśli nie takie same to bardzo podobne wyniki. Ewentualne rozbieżności mają charakter drugorzędny i jako takie nie wpływają na kompatybilność obu metod.

5. Określanie strat występujących na skutek pochłonięcia określonych dawek promieniowania realizowane jest w odmienny sposób, co zresztą wyraźnie rzutuje na poziom ich wiarygodności. W tym przypadku bardziej wiarygodna jest metoda polska, w której dość szczegółowo przedstawiono skutki napromienienia żołnierzy dla dawek promieniowania z przedziału 0 – 600 cGy. Informacje zawarte w tych tabelach mają jednak charakter tylko orientacyjny, gdyż realne straty zależą od wielu dodatkowych czynników, które nie zawsze są w metodykach uwzględnione.

6. Obecny układ polityczno – militarny w żaden sposób nie dyskryminuje dotychczasowych metod prognozowania skażeń. Wprowadzenie nowej metodyki spowodowało jednak, że niektóre zasady szacowania skażeń zostały zweryfikowane lub uzupełnione. Należy przy tym zaznaczyć, że obie metody mogą się doskonale uzupełniać tworząc w ten sposób w pełni dojrzałe narzędzie analityczne.

Autor ma nadzieję, że pomimo uchybień, które mógł popełnić opracowany materiał będzie stanowił dobrą podstawę do dalszych dociekań w tym zakresie i przyczyni się do dalszego udoskonalenia metod prognozowania skażeń.

## SPIS LITERATURY

1. Dictionary of Military and Associated Terms, Washington 1987;
2. Działanie systemu wykrywania skażeń w wojskach operacyjnych, podręcznik, MON, Warszawa 1978;
3. Flemming M., Broń jądrowa a prawo międzynarodowe, Wojskowy Przegląd Prawniczy nr 3-4, Warszawa 1998;
4. Goodby J.E., Kile S., Müller H., Nuclear arms control (w) Yearbook SIPRI, Oxford, Nowy Jork 1995;
5. Informator o dokumentach standaryzacyjnych NATO dotyczących obrony NBC, Dowództwo Wojsk Lądowych, Warszawa 1998;
6. Instrukcja o działaniu posterunków podczas obserwacji wybuchów jądrowych i wykrywania skażeń, MON, 1977r;
7. Jaśtak Zbigniew, Informator o skutkach działania broni jądrowej, MON 1971r;
8. Kile S., Nuclear arms control [w:] SIPRI Yearbook 1998;
9. Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej i chemicznej na podstawie danych z rozpoznania, MON, 1984r;
10. Metodyka oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie, MON, 1991r;
11. NATO standards of proficiency for NBC defence, Stanag 2150, 1993;
12. NBC Field Handbook, Washington 1994;
13. Nowak I., Łabędzki J., Skażenia promieniotwórcze środowiska, AON, Warszawa 1996;
14. Nuclear Contamination Avoidance, Washington 1994;
15. Ochrona przed skażeniami w obiektach obronnych, MON, Warszawa 1986;
16. Operating in an NBC Environment, Londyn 1990;
17. Operational Terms and Symbols, FM 5-1, Washington 1985;
18. Reporting nuclear detonations, biological and chemical attacks, and predicting and warning of associated hazards and hazard areas, ATP-45, 1994;
19. Słownik terminów i definicji NATO AAP-6(U), MON, Biuro Wojskowej Służby Normalizacyjnej, Warszawa 1998r;
20. Śladkowski S., Moskal E., Metody oceny sytuacji skażeń (Analiza dokonań światowych), AON, Warszawa 2000r;

## SPIS TABEL

Tabela 1 Promienie obszaru skażenia wywołanego promieniowaniem neutronowym .....	16
Tabela 2 Typy gleby w zależności od jej składu chemicznego .....	17
Tabela 3 Warstwy powietrza, w których określa się średni wiatr .....	31
Tabela 4 Rozmiary stref skażeń na śladzie obłoku .....	31
Tabela 5 Długości wektorów wiatru w cm w zależności od prędkości wiatru w km/h, skala mapy 1:100 000 .....	34
Tabela 6 Długości wektorów wiatru w cm w zależności od prędkości wiatru w km/h, skala mapy 1:250 000 .....	34
Tabela 7 Wyznaczanie parametrów wiatru skutecznego .....	45
Tabela 8 Wartość indeksu dla dawki całkowitej przy $n = 1,2$ .....	52
Tabela 9 Współczynnik do przeliczania mocy dawki promieniowania na różny czas po wybuchu .....	54
Tabela 10 Średnie wartości współczynnika osłabienia dawki promieniowania ( $k_{ost}$ ) ..	55
Tabela 11 Współczynniki transmisji osłabienia promieniowania różnych obiektów ...	56
Tabela 12 Średnie moce dawek promieniowania (cGy/h) na zewnętrznych granicach stref skażonych w różnym czasie po wybuchu .....	57
Tabela 13 Współczynniki do obliczania dawki biologicznie czynnej .....	63
Tabela 14 Charakterystyka stopni ryzyka napromienienia .....	64
Tabela 15 Ocena możliwości dopuszczalnego napromienienia wojsk .....	65
Tabela 16 Dawki promieniowania (cGy) pochłonięte przez żołnierzy w czasie wsiadania do środków transportowych w środku stref skażonych .....	72
Tabela 17 Biologiczne efekty promieniowania .....	75
Tabela 18 Sumaryczne straty żołnierzy w czasie od początku napromienienia w zależności od pochłoniętej dawki promieniowania (%) .....	77

## SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1 Ogólny podział energii wybuchu jądrowego .....	9
Rysunek 2 Tworzenie się opadu radioaktywnego .....	13
Rysunek 3 Nomogram do określania spadku radioaktywności wzbudzonej (typ gleby II).....	18
Rysunek 4 Nomogram do określania całkowitej dawki pochłoniętej w obszarze występowania promieniowania wtórnego .....	19
Rysunek 5 Nomogram do określania mocy wybuchu jądrowego metodą „polską” ...	22
Rysunek 6 Określanie mocy wybuchu jądrowego na podstawie szerokości kątowej obłoku i czasu przejścia fali uderzeniowej.....	24
Rysunek 7 Określanie mocy wybuchu na podstawie kąta wzniesienia wierzchołka lub podstawy obłoku i czasu, który upłynie od błysku do usłyszenia fali dźwiękowej / odległości do punktu zerowego .....	25
Rysunek 8 Parametry ustabilizowanego słupa i obłoku promieniotwórczego (ustabilizowane w H+10 min).....	26
Rysunek 9 Strefy skażeń promieniotwórczych według metodyki oceny sytuacji promieniotwórczej w terenie .....	30
Rysunek 10 Wykres wektorów wiatrów .....	35
Rysunek 11 Wykres wektorów .....	35
Rysunek 12 Wykres wektorów wiatrów z wyznaczonymi liniami kierunkowymi.....	36
Rysunek 13 Nomogram do określania długości pierwszej strefy .....	38
Rysunek 14 Etapy powstawania kompletnego schematu prognozy skażenia promieniotwórczego oraz meldunek NBC 3 NUC.....	39
Rysunek 15 Szczególny przypadek prognozy skażenia promieniotwórczego.....	40
Rysunek 16 Szablon prognozy skażeń promieniotwórczych z wykonaną prognozą	41
Rysunek 17 Graficzny wynik prognozy skażeń .....	45
Rysunek 18 Rzeczywista sytuacja skażeń .....	48
Rysunek 19 Nomogram do określania dawki całkowitej dla stałej $n = 1,2$ .....	51
Rysunek 20 Diagram do określania współczynnika mnożenia .....	69

