AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH

[redacted]

Egz. Nr 1

Mjr mgr inż. Marian URBANEK

MODEL SYMULACYJNY ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO DZIAŁAŃ BOJOWYCH WOJSK NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

Rozprawa doktorska

54759

Biblioteka Główna
Akademii Sztuki Wojennej
54759
09-054759-001-0

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
1675/S + 2 zał.
05-001675-001-0

54759

WARSZAWA **1992**

A K A D E M I A O B R O N Y N A R O D O W E J

WYDZIAŁ WOJSK LĄDOWYCH

[redacted]

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
54759
Akademii Obrony Narodowej

mjr mgr inż. Marian Urbanek

MODEL SYMULACYJNY ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO DZIAŁAŃ BOJOWYCH WOJSK NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

ROZPRAWA DOKTORSKA

1-3

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Działu Zbiorów Jawnych - Akademii O...
1675/S

Promotor
płk prof. dr hab. Władysław FILAR

WARSZAWA 1992

SPIS TREŚCI

WSTĘP..... 4

1. SYMULACYJNE BADANIE SYSTEMÓW..... 11

1.1. Idea modelowania symulacyjnego..... 13

1.2. Metody modelowania..... 20

2. WŁAŚCIWOŚCI SYSTEMU ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO..... 22

2.1. Charakterystyka sytuacji bojowej..... 23

2.2. Charakterystyka ogólnych strat osobowych..... 24

2.3. Struktura strat sanitarnych..... 30

2.4. Charakterystyka czynników urazogennych..... 32

2.5. Struktura organizacyjna i funkcjonalna systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego..... 40

2.5.1. Organizacja służby zdrowia..... 40

2.5.2. Charakterystyka zabezpiecznia leczniczo-ewakuacyjnego..... 45

2.5.3. Dowodzenie służbą zdrowia..... 50

2.5.4. Charakterystyka punktów medycznych..... 53

3. MODEL SYSTEMU ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO..... 62

3.1. Cel budowy modelu..... 62

3.2. Opis ogólny modelu systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego..... 63

3.3. Opis szczegółowy modelu SZLE..... 67

3.3.1. Wymagania..... 67

3.3.2. Założenia i ograniczenia..... 69

3.3.3. Model otoczenia SZLE..... 76

3.3.3.1. Struktura organizacyjna obiektów..... 76

3.3.3.2. Generowanie strumienia rannych..... 84

3.3.4. Model podsystemu leczniczego..... 98

3.3.4.1. Model punktu medycznego..... 99
3.3.4.2. Funkcjonowanie punktu medycznego..... 111
3.3.4.3. Manewr punktem medycznym..... 121
3.3.5. Model podsystemu ewakuacji..... 126
3.3.5.1. Funkcjonowanie podsystemu ewakuacji..... 130
3.3.5.2. Ewakuacja rannych sposobem "do siebie"..... 132
3.3.5.3. Ewakuacja rannych sposobem "od siebie"..... 136
3.3.5.4. Wybór rannych do ewakuacji..... 138
3.3.5.5. Wykorzystanie środków transportu ogólnego do ewakuacji rannych..... 140
3.3.5.6. Uproszczony wariant pracy podsystemu ewakuacji. 141
3.3.5.7. Uszkodzenia środków transportu sanitarnego..... 143
3.3.6. Odwzorowanie upływu czasu..... 146

4. IMPLEMENTACJA KOMPUTEROWA MODELU SZLE..... 149
4.1. Współpraca użytkownika z modelem..... 154
4.2. Ustalanie warunków początkowych pracy systemu.. 155
4.3. Sterowanie przebiegiem eksperymentu symulacyjnego..... 158
4.3.1. Wprowadzanie danych..... 159
4.3.2. Redagowanie dokumentów wynikowych..... 164

5. KONCEPCJA WERYFIKACJI MODELU SYSTEMU ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO..... 168
PODSUMOWANIE..... 180
PODZIĘKOWANIA..... 184
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SYMBOLI..... 185
WYKAZ LITERATURY..... 196

"Nic tak nie podnosi ducha żołnierza jak przekonanie, że w razie zranienia będzie miał zapewnioną jak najszybszą i jak najlepszą pomoc fachową".

Doktór T. Czerwiakowski
(1794r.)

WSTĘP

Obserwowany w ostatnich latach dynamiczny rozwój systemów uzbrojenia, wzrost ich skuteczności i precyzji rażenia wymaga coraz częstszej weryfikacji poglądów na temat teorii i praktyki zabezpieczenia medycznego przyszłych działań bojowych. Jednakże zachodzące zmiany w jakościowym i ilościowym poziomie uzbrojenia nie powinny zachwiać u walczącego żołnierza pewności, że z chwilą zranienia uzyska w określonym czasie niezbędną pomoc medyczną. Los rannych zależy od czasu w jakim zostanie udzielona im pierwsza pomoc na polu walki, sprawnej ich ewakuacji i szybkiego udzielenia im należytej pomocy fachowej. Doświadczenia z pracy służby zdrowia w minionej wojnie wykazały, iż wskutek opóźnień w udzielaniu pierwszej pomocy znaczna część ciężko rannych ginęła z powodu utraty krwi, wstrząsu i innych ciężkich powikłań [18]. Opóźnienia w ewakuacji powodują opóźnienia w wykonywaniu zabiegów chirurgicznych, a w następstwie złą prognozę w leczeniu. Zatem bardzo ważnym zadaniem wojskowej służby zdrowia jest efektywna realizacja zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych. Najtrudniejsze i najbardziej odpowiedzialne zadania przypadają służbie zdrowia działającej w rejonie taktycznym. Musi ona we właściwym czasie udzielać pierwszej pomocy lekarskiej i kwalifikowanej pomocy medycznej. Najczęściej w warunkach

występowania dysproporcji między potrzebami a możliwościami jej udzielenia.

Obowiązujący w związku taktycznym "system leczenia etapowego z ewakuacją na kierunku" w sposób praktyczny sprawdzony był w minionej wojnie. Obecnie wszelkie rozważania dotyczące zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych wojsk są hipotetyczne. Ich słuszność w ograniczonym zakresie może być potwierdzona przez prowadzenie badań poligonowych, ćwiczeń czy analiz konfliktów lokalnych.

Ze względu na dużą rolę systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakacyjnego w przyszłych działaniach bojowych, wymaga on ciągłego doskonalenia poprzez szkolenie kadr dowódczych służby zdrowia, jak i prowadzenie prac badawczych. Oczekuje się zatem poszukiwania i stosowania takich metod, technik i narzędzi badawczych, które umożliwiłyby (w czasie pokoju) kompleksową analizę i ocenę funkcjonowania systemu, ocenę ex ante jego efektywności, prognozowanie jego funkcjonalnego rozwoju oraz pozwoliłyby na wszechstronną analizę podejmowanych decyzji. Najbardziej korzystnym byłoby przeprowadzenie badań na systemie rzeczywistym. Ponieważ w warunkach pokojowych nie istnieje możliwość "uruchomienia" tego systemu z zachowaniem pełnych realiów współczesnego pola walki, skłania to do prowadzenia badań na modelach tego systemu. Znajduje to potwierdzenie w literaturze przedmiotu [6], [61], [57], [18], [23], gdzie prezentowane są modele systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego oraz modele jego elementów funkcjonalnych.

Metodą modelowania matematycznego J. Sobczyk [61] przeprowadził analizę przepustowości dywizyjnego punktu medycznego. Analizę przepustowości autor przeprowadził dla dwóch wariantów udzielania pomocy rannym, przyjmując średnie wartości przewidywanych strat sanitarnych.

Metody sieciowe wykorzystał T. Boszkiewicz [6] do racjonalnego planowania i kierowania pracą dywizyjnego punktu medycznego . Wykorzystanie metody planowania sieciowego PERT pozwoliło określić rezerwy czasu w elementach

punktu oraz ścieżki krytyczne[1], w zależności od liczebności i struktury strumienia rannych napływających do punktu.

Metodami analitycznymi przeprowadzono również ocenę systemu w aspekcie określonych warunków jego działania.

Metodę planowania sieciowego (PERT) zastosował A. Słowiński [57], badając zabezpieczenie leczniczo-ewakuacyjne związku taktycznego w działaniach bojowych prowadzonych z użyciem broni jądrowej.

Stosując badania operacji J. Gawryluk [18] przeprowadził analizę zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego operacji zaczepnej. W analizie przeprowadzona została konfrontacja możliwości i potrzeb leczniczo-ewakuacyjnych służby zdrowia armii dla przewidywanej wielkości i struktury strat sanitarnych.

Prezentowane rozwiązania analityczne pozwalają określić tylko potencjalne możliwości systemu lub jego elementów funkcjonalnych w udzielaniu pomocy rannym i chorym żołnierzom.

Interesującą koncepcję modelu systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego, wykorzystując teorię masowej obsługi, opracowali R. Godawa, J. Gryskowski, M. Pruski [23]. Model systemu przedstawiony jest w postaci sieci prostych systemów masowej obsługi (tj. generator zgłoszeń, kolejka, stanowiska obsługi). Bardziej szczegółowy opis modelu stanowiłby atrakcyjny materiał do porównania z rozwiązaniem prezentowanym w niniejszej rozprawie.

---

[1] ścieżka o maksymalnej długości łącząca początkowe i końcowe zdarzenia sieci. Wszystkie operacje nie należące do ścieżki krytycznej można przesunąć w czasie w granicach ich rezerw czasowych, nie wydłużając przy tym ogólnego czasu realizacji kompleksu operacji. Właściwość ta jest wykorzystywana w pracach nad wyznaczaniem planowych terminów rozpoczęcia operacji z uwzględnieniem dostępnych zasobów.

Stosując metody analityczne, odwzorowanie właściwości dynamicznych systemu oraz jego wielopoziomowej struktury i probabilistycznego charakteru procesów jest bardzo złożone. Zdaniem autora korzystniejszą metodą jest modelowanie symulacyjne, powszechnie stosowane w badaniu złożonych systemów wojskowych [8], [52].

Zainteresowanie autora problemem badania systemu leczniczo-ewakuacyjnego metodami symulacyjnymi podyktowane było względami praktycznymi, a mianowicie wynikało z potrzeby opracowania modelu symulacyjnego dla Zakładu Organizacji i Taktyki Służby Zdrowia Instytutu Organizacji Ochrony Zdrowia Wojsk WAM.

Opracowanie modelu wymagało przeprowadzenia wnikliwej analizy teorii i praktyki zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych wojsk. Rozwiązania wymagały następujące główne problemy badawcze:

w sferze poznawczej:

- identyfikacja procesów zabezpieczenia leczniczo ewakuacyjego na poszczególnych etapach zabezpieczenia medycznego związku taktycznego;
- rozpoznanie i dobór metod pozwalających zbudować adekwatny model symulacyjny;

w sferze praktycznej:

- budowa modelu symulacyjnego procesów zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego wojsk na szczeblu taktycznym;
- zastosowanie praktyczne zbudowanego modelu symulacyjnego w procesie badawczym i dydaktycznym.

Rozwiązanie powyższych problemów potwierdziło zasadność podjęcia prac modelowych, realną stała się perspektywa wykorzystania modelu w praktyce badawczej i dydaktycznej. Zachęciło to autora do zaprezentowania rozwiązania problemu w formie rozprawy doktorskiej na temat:

"Model symulacyjny zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych wojsk na szczeblu taktycznym".

Celem pracy jest zbudowanie modelu symulacyjnego odwzorowującego procesy zabezpieczenia leczniczo-ewakua-

cyjego wojsk w działaniach bojowych.

Analiza metod i technik, dotychczas stosowanych w procesie badawczym systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego i szkoleniu kadr dowódczych służby zdrowia, pozwoliła na sformułowanie następujących hipotez roboczych:

1. Tradycyjne metody stosowane w procesie badawczym i dydaktycznym dotyczące zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego dają zbyt ogólne wyniki, nie pozwalające na wnikliwą analizę funkcjonowania systemu.
2. Model symulacyjny procesów zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego jest efektywnym narzędziem badawczym, pozwalającym badać je w warunkach zbliżonych do realnych.

Zakresem pracy został objęty system zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego oraz jego otoczenie. Złożoność powiązań funkcjonalnych zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych (silny związek systemu z otoczeniem), a także specyfika warunków w jakich realizowane są zadania, stanowią wymóg traktowania przedmiotu badań w kategoriach systemowych. Stąd też zabezpieczenie lecznicze i ewakuacja będą rozpatrywane we wzajemnych powiązaniach i uwarunkowaniach.

W rozwiązaniu podstawowych problemów badawczych wykorzystano elementy analizy systemowej, modelowania symulacyjnego, metody ekspertów, wybranych metod statystycznych. Organizacja badań obejmowała następujące etapy:

- analizę identyfikacyjną i funkcjonalną systemu leczniczo-ewakuacyjnego wojsk szczebla taktycznego,
- budowę modelu symulacyjnego,
- sposób weryfikacji modelu.

Dążeniem autora w niniejszej pracy jest sformułowanie zarówno pewnych teoretycznych podstaw do konstrukcji modelu symulacyjnego przydatnego dla specjalistów organizacji zabezpieczenia medycznego działań bojowych, jak również podanie propozycji rozwiązań dotyczących etapu implementacji modelu.

Do komputerowej implementacji modelu wykorzystano pakiet oprogramowania CLIPPER SUMMER 87' uzupełniony funkcjami generowania liczb losowych oraz pakiet oprogramowania DBASE III.

Praca składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów oraz zakończenia.

W rozdziale pierwszym przedstawione zostały podstawowe pojęcia i metody modelowania symulacyjnego, jego wady i zalety.

Rozdział drugi zawiera charakterystykę struktury organizacyjnej i funkcjonalnej systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego. Scharakteryzowane zostało pole walki, stanowiące otoczenie systemu, z uwzględnieniem jego wpływu na wielkość i strukturę strat sanitarnych. Uzasadniona została koncepcja rozdziału strat ogólnych stanu osobowego na straty sanitarne i bezpowrotne.

Rozdział trzeci stanowi zasadniczą część rozprawy. Zawiera on ogólny i szczegółowy opis modelu systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego. Omówione zostały założenia i ograniczenia przyjęte w modelu. Prezentowany model systemu stanowią modele podsystemu leczniczego, ewakuacyjnego oraz model otoczenia.

W rozdziale czwartym przedstawiona jest komputerowa implementacja modelu oraz sposób jego użytkowania. Uzasadniono wybór metody symulacji do budowy modelu oraz wybór języka i techniki programowania. W dalszej części rozdziału omówiono zasady przygotowania modelu do przeprowadzenia eksperymentu symulacyjnego, sposób wprowadzania danych oraz charakterystykę danych wynikowych.

Treścią ostatniego rozdziału pracy jest koncepcja sposobu oceny adekwatności modelu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego.

Zakończenie stanowi krótkie podsumowanie pracy zawierające ocenę stopnia realizacji celu rozprawy, wnioski i spostrzeżenia autora, dotyczące rozwiązywanych problemów badawczych oraz propozycje kierunku dalszych prac w zakresie modelowania symulacyjnego zabezpieczenia leczniczo-ewakua-

cyjnego działań bojowych.

Wiele zagadnień podjętych w rozprawie autor miał możliwość zaprezentowania, w ramach konsultacji, specjalistom organizacji zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego AON, WAM oraz Szefostwa Służby Zdrowia. Stanowiło to formę weryfikacji przyjętych założeń i rozwiązań satysfakcjonujących autora. Na ostateczny kształt rozprawy wpłynął również wieloletni udział autora w pracach badawczych i projektowych w tematach o kryptonimach "POSTĘP" oraz "MODEL-2" dotyczących modelowania symulacyjnego procesów walki.

1. SYMULACYJNE BADANIE SYSTEMÓW

Badanie wybranych procesów związanych z walką wymaga rozpatrywania dużej liczby czynników, których większość ma charakter probabilistyczny i ocenia się je tylko według norm prawdopodobieństwa. Uzyskanie zatem zadowalających rezultatów badań wymaga stosowania takich metod badawczych, które pozwalają ujmować zjawiska całościowo. Do badania zjawisk, w których "wszystko zależy od wszystkiego" najkorzystniejszym jest "podejście systemowe", pozwalające na rozpatrywanie wszystkich aspektów problemu jako całości.

Wyróżnikami podejścia systemowego są następujące cechy działania poznawczego i praktycznego [54]:

- traktowanie badanego obiektu jako systemu,
- traktowanie danego systemu jako obiektu złożonego z wzajemnie powiązanych podsystemów,
- świadome posługiwanie się modelem systemu o określonym poziomie rozdzielności, wyróżniającym określony aspekt działania.

Termin system jest wieloznaczny i trudno jest podać jego definicję na tyle ogólną, aby obejmowała wszystkie zastosowania i jednocześnie była dość precyzyjna pod względem praktycznym. Można przyjąć następującą definicję systemu [54]:

"**Systemem** nazywa się każdy złożony obiekt wyróżniony z badanej rzeczywistości, stanowiący całość tworzoną przez zbiór elementów i powiązań (relacji) pomiędzy nimi".

System jest zatem całością, czyli czymś odmiennym niż przypadkowe zbiorowisko części. Ma określony skład (kompozycję) - czyli zbiór tworzących go elementów oraz strukturę - czyli zbiór istotnych relacji między tymi elementami. Z pojęciem system stanowiącym punkt wyjścia w rozważaniach o preliminariach pojęciowych, związane są pojęcia "modelowanie" oraz "model".

"**Modelowanie** oznacza reprezentację badanego obiektu w postaci innej niż ta, w jakiej występuje on w rzeczywistości. Jest odwzorowaniem obiektu w określonym języku modelowania, dla określonych celów poznawczych lub praktycznych" [54].

Pojęcie "model" w literaturze przedmiotu jest różnie definiowane. Przykładowo można przytoczyć następujące definicje:

"**Model** jest konkretnym interpretacyjnym wyrazem teorii jednej lub kilku hipotez" [3];

"**Model** oznacza uproszczone odwzorowanie, często połączone z pewną schematyzacją lub stylizacją" [5];

"**Model** systemu jest ilościową i jakościową reprezentacją statycznej i dynamicznej struktury systemu, pozwala przedstawić wpływ czynników istotnych z punktu widzenia prowadzonych badań na zachowanie się systemu" [52].

Między systemem pojęciowym przyjętym jako model badanego systemu rzeczywistego a oryginałem (systemem rzeczywistym) musi zachodzić co najmniej relacja homomorfizmu, czyli relacja jednoznaczna, dwuczłonowa, przeciwsymetryczna, wyrażająca większe lub mniejsze podobieństwo (strukturalne, funkcjonalne) modelu i oryginału [54].

Różnorodność stosowanych modeli jest bardzo duża i dlatego stosuje się wiele rozróżnień klasyfikacyjnych ze względu na [54], [7],[55 t.1]:

- przeznaczenie (badawcze, pragmatyczne, modele jako wzory);
- przydatność (zjawiskowe, ocenowe, decyzyjne);
- odwzorowanie zmian i procesów (statyczne, dynamiczne);
- stosowany stopień abstrakcji (opisowe, fizyczne, analogowe, formalne);
- stopień określoności uwzględnianych wielkości (deterministyczne, probabilistyczne, strategiczne, rozmyte);
- odwzorowanie struktury obiektu (funkcjonalne, strukturalne, rozwoju);
- sposób przedstawienia (opisowe, ikonograficzne, wykreślne, analityczne, fizyczne).

Modele systemu rzeczywistego mogą być tworzone przy pomocy różnych technik i metod w zależności od klasy modelowanego systemu. Przydatne mogą być między innymi: metody heurystyczne, analiza decyzyjna, teoria grafów i sieci, teoria prawdopodobieństwa, techniki statystyczne, optymalizacja wielokryterialna, symulacja komputerowa.

Badania przeprowadzone w około 1000 wielkich firm amerykańskich, mające na celu ocenę przydatności metod badawczych do rozwiązywania problemów o charakterze planistycznym, wykazały że jednym z częściej stosowanych narzędzi jest symulacja komputerowa [52].

1.1. Idea modelowania symulacyjnego

Wzrost złożoności systemów powoduje, że badanie ich funkcjonowania staje się coraz trudniejsze. Do takich właśnie złożonych systemów należą między innymi systemy wojskowe. Ponadto należy podkreślić, że badanie systemu rzeczywistego jest z reguły kosztowne i czasochłonne a w systemach wojskowych w wielu sytuacjach w ogóle niemożliwe.

Do charakterystycznych właściwości systemów wojskowych należy zaliczyć konieczność uwzględnienia aktywnego oddziaływania przeciwnika. Procesy zachodzące na polu walki mają najczęściej charakter procesów losowych. Odtwarzanie dynamiki funkcjonowania takich systemów oraz badanie ich wielopoziomowej struktury organizacyjnej za pomocą tradycyjnych metod badawczych może się okazać mało efektywne i niewystarczające [16]. Wydaje się, że skuteczną metodą stosowaną do badania tej klasy systemów jest modelowanie symulacyjne. Metoda ta staje się tym bardziej atrakcyjna, że w połączeniu z techniką obliczeniową umożliwia przeprowadzenie na modelu wielokrotnych badań z możliwością wprowadzania zmian parametrów modelu.

Przed przystąpieniem do omówienia metody modelowania symulacyjnego wyjaśnienia wymagają takie pojęcia jak

"modelowanie symulacyjne" oraz "symulacja". Proponowane w literaturze definicje wynikają z zastosowania symulacji w określonym celu, wiążą się z doświadczeniem autorów oraz wyrażają z reguły ich poglądy. Dla przykładu można przytoczyć kilka definicji tych pojęć.

"**Modelowaniem symulacyjnym** nazywamy proces budowy modelu systemu rzeczywistego oraz przeprowadzanie eksperymentów symulacyjnych na tym modelu w celu poznania zachowania się systemu pod wpływem wewnętrznych i zewnętrznych czynników lub dokonania oceny strategii zapewniających funkcjonowanie badanego systemu "[16].

"**Symulacja** jest czynnością lub metodą znajdowania rozwiązań" [10].

"**Symulacja** jest techniką eksperymentalną służącą poznawaniu i zrozumieniu praw rządzących zachowaniem się badanego systemu" [45].

"**Symulacja** to działanie modelu systemu przedmiotowego (rzeczywistego) realizowana w jakimś określonym celu" [3].

Model umożliwiający przeprowadzanie na nim eksperymentów symulacyjnych można określać mianem "modelu symulacyjnego". Modelowanie symulacyjne z wykorzystaniem elektronicznej techniki obliczeniowej wiąże się również z takimi terminami jak "modelowanie cyfrowe" (modelowanie komputerowe), a model symulacyjny z określeniem "komputerowy model symulacyjny".

"**Komputerowy model symulacyjny** jest logiczno-matematycznym przedstawieniem pojęcia systemu lub działań zaprogramowanym w celu rozwiązania za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej" [39].

"**Symulacja cyfrowa** jest techniką algorytmiczną służącą do dokonywania eksperymentów na modelach systemów rzeczywistych w określonym celu za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej" [52].

Symulacja jako metoda znajduje coraz większe zastosowanie przy podejmowaniu decyzji, szkoleniu oraz

w pracach badawczych. Po raz pierwszy pojęcie symulacji systemów znalazło praktyczne zastosowanie na początku lat 50-tych. Stosunkowo najwcześniej symulację komputerową wykorzystano w badaniach o charakterze militarnym.
W USA wprowadzono między innymi symulacyjne modele komputerowe [52]:

- systemów obrony powietrznej,
- procesu ewakuacji rannych z pola walki (modele PETS, PFM[1]) [8],
- systemów radiolokacji i łączności,
- gier wojennych.

Symulacja cyfrowa jest wygodnym narzędziem do rozwiązywania wielu problemów zarówno na etapie projektowania jak i eksploatacji oraz modernizacji systemów rzeczywistych. Stosując ją należy się jednak upewnić czy do rozwiązania danego zagadnienia nie ma innych efektywniejszych metod. Niewątpliwymi zaletami tej metody są przede wszystkim możliwości:

- badania zachowania się modelu systemu zarówno przy zmianie parametrów systemu jak i jego środowiska,
- uzyskania wielu wariantów rozwiązań,
- badania systemów rzeczywistych oraz hipotetycznych.

---

[1] Modele opracowane dla Biura Asystenta Sekretarza Obrony ds. Zdrowia Armii Stanów Zjednoczonych.
PETS - Patient Evakuation and Treatment System. Jest jednostronnym stochastycznym modelem symulacyjnym przeznaczonym do badania procesów udzielania pomocy i ewakuacji rannych z pola walki (stref bojowych) dla służby zdrowia wojsk lądowych.
PFM - Patient Flow Model. Jest jednostronnym deterministycznym, analitycznym modelem przeznaczonym do prognozowania napływu rannych do szpitali (prognozowanie potrzeb w zakresie ewakuacji oraz prognozowanie potrzeb na łóżka szpitalne).

Należy zaznaczyć, że eksperymenty symulacyjne są powtarzalne i niedestruktywne.

Niewłaściwe zastosowanie tej metody, błędy na różnych etapach tworzenia modelu symulacyjnego mogą w konsekwencji prowadzić do skromnych rezultatów. Podczas konstruowania modelu symulacyjnego szczególną uwagę należy zwracać na [16], [52]:

- właściwe określenie celu symulacji,
- dobranie odpowiedniego poziomu szczegółowości modelu,
- jego wiarygodność,
- wybór odpowiedniego języka symulacyjnego,
- kompetentny udział przyszłego użytkownika modelu w pracach projektowych.

Podejmując decyzję o zastosowaniu metody symulacji cyfrowej należy pamiętać, że:

- opracowanie modelu jest przedsięwzięciem trudnym i pracochłonnym,
- nie ma gwarancji, że włożony wysiłek zwróci się w formie użytecznych wyników,
- konstruowanie modeli symulacyjnych wymaga dużego doświadczenia z uwagi na brak uniwersalnych metod ich budowy,
- brak jest łatwych metod weryfikacji modelu (szczególnie jeżeli nie można porównać uzyskanych wyników z wynikami badań eksperymentalnych lub analitycznych).

Ogólne zasady budowy modeli symulacyjnych zostały omówione w literaturze [16], [3], [10], [25], [39], [45], [52], [62], [66]. Dotychczas nie wypracowano uniwersalnego przepisu na budowę modeli symulacyjnych. Wiąże się to z tym, że modelowanie symulacyjne w wielu przypadkach pozostaje w sferze procesów intuicyjnych. Takie bowiem czynniki jak stopień szczegółowości modelu, przyjęte założenia i ograniczenia opierają się na intuicji i doświadczeniu projektantów oraz ekspertów [16].

Modelowanie symulacyjne (za pomocą maszyny cyfrowej) jest procesem składającym się z następujących etapów (rysunek 1.1.) [16], [52], [45]:

- sformułowanie problemu badawczego,
- poszukiwanie rozwiązań,
- budowa modelu,
- weryfikacja modelu,
- przeprowadzanie eksperymentów,
- analiza wyników,
- dokumentowanie,
- praktyczne wykorzystanie modelu.

Przystępując do badania symulacyjnego systemu rzeczywistego koniecznym jest sformułowanie problemu badawczego oraz wskazanie celu modelowania. Należy wyraźnie określić granice między systemem badanym a jego środowiskiem, a także dokonać wyboru parametrów i zmiennych systemu.

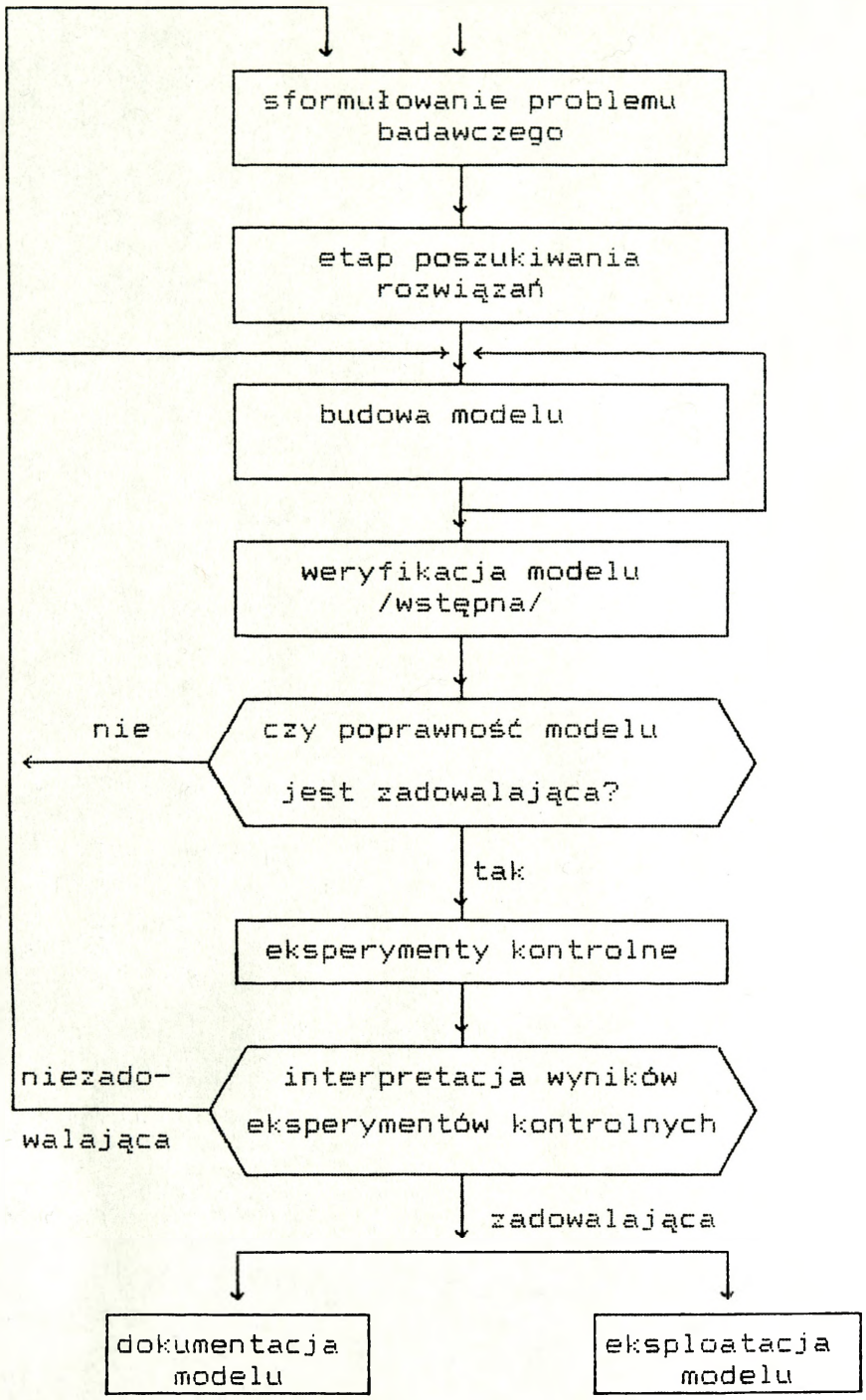
Etap poszukiwania rozwiązań polega na zebraniu niezbędnych danych do modelu, ustaleniu powiązań między elementami oraz opracowaniu alternatywnych rozwiązań dla osiągnięcia postawionych celów.

Budowę modelu symulacyjnego rozpoczyna się od etapu konceptualizacji. Model konceptualny jest modelem typu opisowego przedstawiający koncepcję funkcjonowania systemu rzeczywistego w granicach określonych celami, przeznaczeniem, założeniami i przyjętymi ograniczeniami [16]. Model konceptualny stanowi podstawę do komputerowej implementacji.

Konstrukcja komputerowego modelu symulacyjnego polega na programowym odwzorowaniu struktury statycznej i dynamicznej badanego systemu [45]. Struktura statyczna modelu zawiera opisy stanów[2] podstawowych elementów składowych

---

[2] Stan obiektu jest określony za pomocą atrybutów, których wartości mogą być definiowane i modyfikowane w sposób dynamiczny w czasie eksperymentu symulacyjnego.



Rys. 1.1. Etapy tworzenia modelu symulacyjnego.

modelu zwanych obiektami oraz charakteryzuje relacje i powiązania między nimi. Struktura dynamiczna modelu jest związana z opisem zmian stanu systemu w czasie, wynikających z oddziaływań między obiektami, w ramach statycznej struktury danych.

W rozważaniach dotyczących dynamiki podstawowym pojęciem jest "zdarzenie". Zdarzenie definiuje się jako zmianę stanu zachodzącą w wyróżnionej chwili czasu. Odwzorowanie własności dynamicznych wymaga wprowadzenia w modelu niezależnej, odrębnej rachuby czasu (tzw. symulowanego czasu systemowego). Ponadto opis struktury dynamicznej[3] modelowanego systemu (współdziałanie obiektów w czasie) wymaga wprowadzenia mechanizmu koordynacji (program zarządzający). Zadaniem mechanizmu koordynacji jest cykliczne badanie warunków występowania zdarzeń oraz porządkowanie i koordynacja zdarzeń w skali czasu systemowego.

Duża złożoność modeli symulacyjnych zarówno w zakresie struktury statycznej jak i dynamicznej (różnorodność obiektów, skomplikowany przepływ informacji) wymaga właściwego doboru języka symulacyjnego. Przy wyborze języka symulacyjnego należy zwrócić uwagę na sposób odwzorowania upływu czasu w modelu, sposób definiowania obiektów, realizację współbieżności procesów, określanie warunków zachodzenia zdarzeń itp..

Ważną fazą budowy modelu symulacyjnego jest jego weryfikacja. Ocena zasadności modelu polega na sprawdzeniu zachowania się modelu w porównaniu z systemem rzeczywistym. W odniesieniu do modeli systemów wojskowych ocena adekwatności modelu jest szczególnie trudna i sprowadza się w zasadzie do sprawdzenia realności przyjętych założeń, ograniczeń i uproszczeń. W ramach weryfikacji modelu

---

[3] Do opisu własności dynamicznych można posłużyć się graficzną formą reprezentacji np. w postaci sieci Petriego.

symulacyjnego można wyodrębnić [16]:

- weryfikację służącą do stwierdzenia, czy model zachowuje się zgodnie z przyjętymi celami i jego przeznaczeniem,
- ocenę adekwatności polegającą na sprawdzeniu zbieżności zachowania się modelu i systemu rzeczywistego,
- analizę problemową sprowadzającą się do interpretacji i oceny wyników eksperymentów.

Eksperymenty symulacyjne przeprowadza się według przygotowanych scenariuszy. Właściwie zaplanowany scenariusz eksperymentu winien zapewnić otrzymanie maksymalnej ilości informacji, które pozwolą sformułować oceny (hipotezy) dotyczące statycznych i dynamicznych właściwości badanego systemu.

1.2. Metody modelowania

Podstawowymi metodami, według których tworzy się modele symulacyjne są: metoda stałego kroku oraz metoda kolejnych zdarzeń (planowanie zdarzeń, przeglądanie zdarzeń, interakcja procesów). Zasadniczym elementem różniącym te metody jest reprezentacja i traktowanie czasu [10].

W metodzie stałego kroku czas symulacyjny przybiera stałe wartości. Wartości czasu zdeterminowane są wielkością przyrostu czasu Δt i nie są zależne od chwil występowania zdarzeń. Przetwarzanie zdarzeń ma charakter przetwarzania grupowego. Zdarzenia występujące w kolejnym kwancie czasu Δt są traktowane tak jak gdyby zaszły one w czasie nieco różnym od czasu ich rzeczywistego wystąpienia. Model tworzony metodą stałego kroku wymaga określenia wielkości przyrostu czasu Δt. Przyjęta wielkość przyrostu czasu może mieć istotny wpływ na przebieg symulacji, a przez to na wartość i poprawność wyników. Przyczyną tego jest sposób rozpatrywania zdarzeń. Wszystkie zdarzenia, które miały miejsce w przedziale czasu Δt są traktowane tak jak gdyby wystąpiły jedno-

cześnie na końcu tego przedziału. Wpływ wielkości przyrostu czasu na poprawność wyników można przyjąć za mało istotny, jeżeli parametry modelu wyrażające wartości czasowe są określone z dokładnością do Δt.

W modelu zorganizowanym według metody kolejnych zdarzeń problem wyboru wielkości przyrostu czasu nie istnieje, dzięki czemu całkowicie unika się błędów związanych ze złym wyborem. W metodzie kolejnych zdarzeń upływ czasu symulacyjnego związany jest z czasem występowania zdarzeń. Zdarzenia tworzą kalendarz zdarzeń. Jeżeli zdarzenie wystąpiło w danej chwili to jest obsługiwane, a czas symulacyjny przyjmuje wartość czasu związanego z wystąpieniem kolejnego zdarzenia z kalendarza zdarzeń. Kolejne zdarzenie jest obsługiwane, a czas zostaje przesunięty do chwili wystąpienia (nowego) najbliższego zdarzenia zaznaczonego w kalendarzu. Ta metoda organizacji modelu wymaga prowadzenia kalendarza zdarzeń (wykreślanie zdarzeń obsłużonych, wprowadzanie zdarzeń, które dopiero będą miały miejsce). Przy dużej liczbie zdarzeń metoda ta może okazać się czasochłonna. Ponadto przy obsłudze dużej liczby zdarzeń może okazać się, że przedział czasu pomiędzy kolejnymi zdarzeniami jest rzędu Δt, a wtedy korzystniejszą może okazać się metoda stałego kroku.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Nr ewid.....
Biuro Zbiorów Jawnych Akademii ON

2. WŁAŚCIWOŚCI SYSTEMU ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO.

Spośród podstawowych zadań realizowanych w czasie wojny przez wojskową służbę zdrowia najistotniejszym jest zabezpieczenie medyczne działań bojowych wojsk, każdego szczebla organizacyjnego i w każdym rodzaju działań.

"**Zabezpieczenie medyczne** działań bojowych wojsk jest to całokształt czynności leczniczych, profilaktycznych, zaopatrzeniowych, ewakuacyjnych i szkoleniowych realizowanych przez wojskową służbę zdrowia w odniesieniu do zdrowych i rannych (chorych) żołnierzy" [20].

Działalność wojskowej służby zdrowia w czasie wojny prowadzona jest w zupełnie odmiennych warunkach niż w okresie pokoju [65], [20], [56]. Do najważniejszych czynników determinujących warunki pracy służby zdrowia zalicza się: sytuację bojową oraz "masowość" i różnorodność strat osobowych.

Istotne są również właściwości patologii wojennej. W porównaniu z okresem pokoju w czasie wojny zranieniom często towarzyszą różnego rodzaju powikłania wywołane infekcjami czy wstrząsem. Stosowane nowe rodzaje środków rażenia mogą wywołać urazy, których w ogóle nie spotyka się w praktyce okresu pokojowego. Wymagać one mogą specjalnych metod leczenia [65].

Duże znaczenie mają również warunki klimatyczne, geograficzne i sanitarno-epidemiczne, które wpływają na wysokość i strukturę strat sanitarnych, a także na ewakuację i przegrupowanie punktów medycznych. Właściwości terenu, przede wszystkim gęstość sieci dróg, też nie pozostają bez znaczenia; drogi polne są niekorzystne dla ewakuacji rannych, gdyż stopień ich użyteczności zależy od pory roku. Na niektórych obszarach (późną jesienią, w wilgotnych okresach zimy i podczas przedwiośnia) deszcze i roztopy powodują, że teren staje się czynnikiem opóźniającym zbiórkę rannych, ich ewakuację oraz przegrupowanie punktów medycznych.

2.1. Charakterystyka sytuacji bojowej

Dokładna znajomość sytuacji bojowej (realiów pola walki) warunkuje racjonalną organizację zabezpieczenia medycznego działań bojowych. Współczesną walkę charakteryzuje szereg właściwości, wśród których najważniejsze to: duża manewrowość, częste i gwałtowne zmiany sytuacji, jednoczesne prowadzenie działań bojowych na kilku kierunkach z dużym rozmachem i w szybkim tempie [47].

Istotną właściwością jest również różnorodność sposobów prowadzenia działań, wynikająca ze zróżnicowania jakościowego broni, treści zadań walczących stron, rodzaju zgrupowań wojsk przeciwnika i charakteru jego działania. O charakterze działań bojowych wojsk lądowych przesądzają głównie środki rażenia, nasycenie nimi wojsk oraz właściwości terenu.

Wraz z doskonaleniem środków walki, zmierzającym do poprawy ich parametrów taktyczno-technicznych (manewrowość, celność, szybkostrzelność, donośność oraz moc rażenia), zmieniają się proporcje różnych typów środków walki w wyposażeniu wojsk. Wyraźnie rośnie liczba śmigłowców i środków przeciwlotniczych, zmieniają się walory bojowe czołgów i wozów piechoty. Obecnie obserwuje się tendencje w rozwoju środków walki zmierzające do:

- upowszechnienia broni precyzyjnej,
- nasycenia wojsk lądowych śmigłowcami,
- ciągłego doskonalenia broni jądrowej, w tym jej miniaturyzacji.

W taktycznych działaniach bojowych biorą udział różne rodzaje wojsk uwzględniane w strukturze organizacyjnej związku taktycznego, a także oddziały i pododdziały wsparcia i wzmocnienia wydzielane z sił szczebla nadrzędnego.

Wojska mogą działać używając broni masowego rażenia lub tylko broni konwencjonalnej. Możliwość użycia broni masowego rażenia ma duży wpływ na sposoby ugrupowania

oraz działania wojsk. Powoduje nierównomierne przesunięcie linii styczności, szybkie przechodzenie do działań na kierunkach oraz nadaje działaniom charakter krótkotrwałych starć o dużym natężeniu.

Z powyższej ogólnej analizy współczesnego pola walki, traktowanego jako środowisko dla systemu zabezpieczenia medycznego, można określić niezbędne minimum informacji dla poprawnego jego funkcjonowania. Wydaje się, że analiza środowiska powinna szczególnie dotyczyć znajomości:

- struktury organizacyjnej wojsk wchodzących w skład ugrupowania bojowego,
- form walki jaką prowadzą strony,
- środków rażenia jakimi będzie oddziaływał przeciwnik,
- terenu na jakim są prowadzone działania.

2.2. Charakterystyka ogólnych strat osobowych

Prowadzenie działań bojowych nierozłącznie powiązane jest z ponoszeniem strat przez walczące wojska zarówno w ludziach jak i technice bojowej. Zatem walka jest czynnikiem "przyczynowym" powstawania strat ludzi, wpływającym na ich wielkość, strukturę oraz dynamikę (nierównomierność powstawania strat w czasie i miejscu).

W warunkach pokojowych nie spotyka się sytuacji (wyłączając różnego rodzaju kataklizmy), aby w ciągu krótkiego czasu zaistniała duża liczba poszkodowanych wymagających natychmiastowej pomocy medycznej. Zatem specyfika powstawania i masowość strat są charakterystycznym, zasadniczym czynnikiem określającym warunki pracy służby zdrowia w działaniach bojowych. Czynnik ten należy uważać za "zewnętrzny" stanowiący, podobnie jak pole walki, otoczenie systemu zabezpieczenia medycznego działań bojowych.

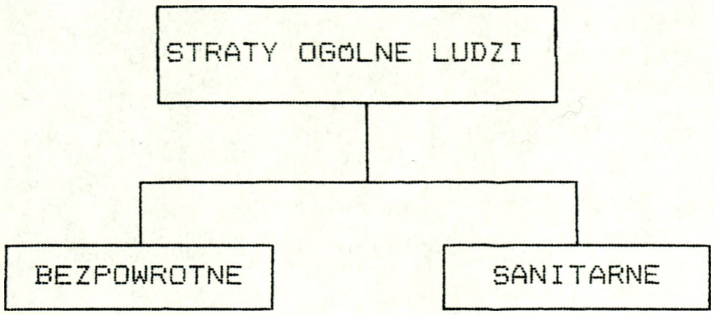
W literaturze przedmiotu pod pojęciem strat ogólnych ludzi zwykle rozumie się całość strat ludzi wojsk walczących, a zatem są to nie tylko przypadki śmierci żołnierzy ale również wszelkie nieobecności w jednostkach w tym też

czasowe [65], [20], [21], [56]. Tak więc do strat zalicza się oprócz zabitych i zmarłych również wziętych do niewoli, zaginionych oraz poszkodowanych przebywających w zakładach leczniczych. W statystyce medycznej straty ogólne ludzi dzielą się na dwie zasadnicze grupy: straty bezpowrotne i straty sanitarne. Można się spotkać z inną klasyfikacją strat ogólnych. Dla przykładu prof. Ł. S. Kamiński [65] dzieli straty ogólne na bojowe i niebojowe, a następnie każdą grupę na bezpowrotne i czasowe. W klasyfikacji strat ludzi na bezpowrotne i sanitarne należy zwrócić uwagę na to, by przyjęte kryteria podziału w sposób jednoznaczny kwalifikowały straty ogólne na dwie rozłączne kategorie.

Dyskusyjnym może być spotykane w literaturze pojęcie "śmiertelne straty sanitarne" (zaliczane do strat bezpowrotnych), do których zalicza się wszystkie przypadki śmierci rannych i chorych zaistniałe podczas okresu leczenia. Z reguły przyjmuje się, że do tej kategorii zalicza się wszystkich żołnierzy zmarłych od ran przed upływem 24 (a nawet 48) godzin od chwili zranienia. W polskiej statystyce medycznej przyjmuje się, że do strat bezpowrotnych zalicza się żołnierzy, którzy zmarli w punktach medycznych przed upływem 1 doby [20].

Z powyższego wynika, że wpływ na wielkość (liczbę) zmarłych od ran wywiera nie tylko przyjęcie określonego kryterium czasowego ale również poziom zabezpieczenia medycznego, charakter terenu jak i pora roku w jakiej są prowadzone działania bojowe. Śmiertelność rannych może być uważana za wskaźnik jakości pracy służby zdrowia w dziedzinie zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego. Należy jednak zwrócić uwagę na znaczną zależność tego wskaźnika od sprawnej ewakuacji (zbiórki) rannych z pola walki .

Do dalszych rozważań przyjmuje się zgodnie z obowiązującą terminologią wojskowo-medyczną następujący podział strat [20]:



Pod pojęciem **straty bezpowrotne** rozumie się żołnierzy zabitych, zaginionych, wziętych do niewoli i zmarłych w punktach medycznych przed upływem jednej doby od chwili przybycia do punktu. **Straty sanitarne** obejmują żołnierzy, którzy w czasie wojny doznali uszkodzeń ciała (psychiki), otrzymują pomoc w punktach medycznych i pozostają w nich dłużej niż jedną dobę. Uwzględniając czynniki bojowe i niebojowe straty sanitarne będą się składać z dwóch podstawowych kategorii: rannych i chorych [30].

Pojęciem **ranny** określa się każdego spośród żołnierzy, na których zadziałał czynnik czysto bojowy. Pojęcie **chory** obejmuje wszystkich tych, u których zachorowanie nie nastąpiło bezpośrednio pod wpływem czynnika bojowego, lecz innych czynników szkodliwych, związanych z warunkami w jakich znajdują się żołnierze. Obecnie w strukturze strat sanitarnych coraz bardziej podkreśla się trzecią kategorię strat związanych z faktem przebywania żołnierzy w stanie ciągłego stresu emocjonalnego, który może być przyczyną zaburzeń psychicznych.

Przewidywanie wielkości strat sanitarnych jakie w ciągu doby walki poniesie pododdział, oddział, związek taktyczny jest trudne do oszacowania z uwagi na ich dużą rozpiętość. Szacunki prowadzi się dla określonej sytuacji bojowej uwzględniając rodzaj broni i zadania bojowe. Wielkość strat sanitarnych określana jest w procentach w odniesieniu do stanu osobowego [21], [18]. Kalkulacje te są w miarę dokładne dla związków wojskowych wyższego szczebla. Dla pododdziału, oddziału są mniej dokładne ze względu na mniejsze stany osobowe. Wydaje się zatem korzystniejszym,

przy szacowaniu wielkości strat sanitarnych, wyjście z wielkości strat ogólnych, traktowanych jako suma strat bezpowrotnych i sanitarnych. Informację o wielkości strat ogólnych uzyskać można wykorzystując modele symulacyjne procesów walki [12], [40] [34], [13]. Scenariusz do przeprowadzenia eksperymentu symulacyjnego tworzy się na podstawie dokumentów bojowych (zamiar walki, decyzja dowódcy). Wyniki symulacji dostarczą nie tylko informacji o wielkości strat ogólnych, ale także danych o dynamice ich powstawania w zadanym przedziale czasu. Wykorzystanie modeli symulacyjnych procesów walki w konsekwencji pozwoli uzależnić straty sanitarne od wielu czynników charakteryzujących działania bojowe, a niemożliwych do uwzględnienia podczas szacowania wielkości strat, ze względu na ich złożoność. Przy określaniu wielkości strat można przyjąć inne podejście, a mianowicie, że wielkość strat ogólnych z uwzględnieniem ich dynamiki będzie arbitralnie określana przez ekspertów.

Traktując straty ogólne jako sumę strat bezpowrotnych i sanitarnych, podział strat można przeprowadzić wykorzystując wskaźnik liczbowy będący stosunkiem liczby zabitych do liczby rannych, uzależniając go od środków rażenia i zadań bojowych [65],[19]. Dla broni masowego rażenia wartości tego wskaźnika określa się na podstawie rozważań teoretycznych oraz wyników badań poligonowych, gdyż broń ta nie była powszechnie stosowana. Natomiast dla broni konwencjonalnej proporcje zabitych do rannych można wyznaczyć analizując materiały (z okresu drugiej wojny światowej lub wojen lokalnych) jakie dostarcza wojskowa statystyka medyczna. Przykładem niech będzie analiza zabezpieczenia medycznego działań 1 armii WP w latach 1943-1945 przedstawiona w pracy [37]. Dla wybranych bitew średnie dobowe wielkości strat oraz wartości stosunku strat przedstawione są w tabeli 2.1..

Średni dobowy stosunek zabitych do rannych mieści się w granicach 1:3, natomiast stosunek strat bezpowrotnych do sanitarnych jest rzędu 1:1,68.

Interesującą analizę strat w operacji berlińskiej

przedstawiono w pracy [14]. Średnie dobowe straty 1 armii przedstawione są w tabeli 2.1.. W okresie prowadzenia operacji straty sanitarne i bezpowrotne odniesione do strat ogólnych w poszczególnych związkach taktycznych i oddziałach przedstawia tabela 2.2.. Stosunek strat bezpowrotnych do sanitarnych w dywizjach piechoty wynosił średnio 1:2,2.

Tabela 2.1.

MIEJSCE BITWY	STRATY OGÓLNE	RANNI I CHORZY	ZABICI I ZMARLI	STOSUNEK ZABITYCH DO RANNYCH I CHORYCH	STOSUNEK STRAT BEZPOWROTNYCH DO SANITARN.
LENINO	633	355	102	1:3.48	1:1.28
DĘBLIN-PUŁAWY	357	150	67	1:2.24	1:0.72
PRZYCZÓŁEK WARECKO-MAGNUSZEWSKI	68	50	16	1:3.16	1:2.78
KOŁOBRZEG	398	273	96	1:2.84	1:2.18
OPERACJA BERLIŃSKA	523	369	105	1:3.51	1:1.42

Statystykę strat ludzi w poszczególnych rodzajach wojsk i służb przedstawia tabela 2.3.. Wielkości strat są podane w procentach w odniesieniu do stanu osobowego.

Pominąwszy specyficzne formy walki (np. forsowanie przeszkód wodnych, gdzie może wystąpić duża liczba zaginięć żołnierzy) w stratach bezpowrotnych podstawę stanowią zabici i zmarli od ran. Wartości stosunku strat bezpowrotnych do sanitarnych oraz stosunku zabitych i zmarłych do strat sanitarnych są porównywalne i nie wykazują większej zależności od wielkości strat ogólnych, przyjmując wartości w granicach od 1:2 do 1:3. Na wartość liczbową stosunku strat wpływ mają rodzaje środków rażenia jakimi może oddziaływać przeciwnik.

Tabela 2.2.

NAZWA JEDNOSTKI	STRATY SANITARNE [%]	STRATY BEZPOWROTNE [%]	STOS. STRAT BEZPOWROTNYCH DO SANITARN.
1DP	65	35	1 : 1.85
2DP	66	34	1 : 1.94
3DP	69	31	1 : 2.23
4DP	72	28	1 : 2.57
6DP	71	29	1 : 2.45
1Brygada kawalerii	83	17	1 : 4.88
Jedn. art. naziem.	77	23	1 : 3.35
Jedn. inżynieryjne	71	29	1 : 2.49
Pozostałe jednostki	79	21	1 : 3.76

Tabela 2.3.

RODZAJ WOJSK	STRATY SANITARNE [%]	STRATY BEZPOWROTNE [%]	STOS. STRAT BEZPOWROTNYCH DO SANITARN.
Piechota /dywizje/	17	8	1 : 2.12
Jedn. art. naziem.	2.8	0.8	1 : 3.5
Jedn. art. plot.	0.4	0.3	1 : 1.3
Jedn. łączności	4	2	1 : 2
Jedn. inżynieryjne	4.7	1.9	1 : 2.47
Jedn. transportowe	0.5	0.1	1 : 5
Jedn. zapasowe	5.5	0.2	1 : 27.5
Jedn. pozostałe	1.1	0.5	1 : 2.2

Zważywszy, że w przyszłych wojnach w strefie działań taktycznych może być użyta broń masowego rażenia przewiduje się, że stosunek strat bezpowrotnych (zabitych i zmarłych)

do strat sanitarnych będzie zawierał się w granicach od 1:1 do 1:2 [19].

Uzależniając stosunek strat od podstawowych form walki (natarcie, obrona) oraz od rodzajów środków rażenia można uważać, że będzie on wiarygodnym kryterium podziału strat ogólnych ludzi zwłaszcza, gdy będą one określone dla pododdziałów/oddziałów w małych przedziałach czasu.

2.3. Struktura strat sanitarnych

Dla wojskowej służby zdrowia ważna jest nie tylko wielkość strat sanitarnych ale również ich struktura uzależniona od czynnika je wywołującego. W literaturze czynniki "wywoławcze" (traktowane dalej jako czynniki urazogenne) dzieli się na bojowe oraz niebojowe [21], [19], [56], [18]. Do czynników bojowych zalicza się podstawowe grupy środków rażenia. Są to: broń jądrowa, broń konwencjonalna, broń chemiczna i broń biologiczna. Do czynników niebojowych zalicza się te, które są przyczyną zachorowań oraz zaburzeń psychicznych. Rozkład procentowy strat sanitarnych w zależności od czynnika urazogennego według źródeł [21], [19], [56] przedstawia tabela 2.4..

Tabela 2.4.

CZYNNIK URAZOGENNY	STRUKTURA STRAT wg [21] [%]	STRUKTURA STRAT wg [19] [%]	STRUKTURA STRAT wg [56] [%]
Broń jądrowa	53.0 - 61.0	53.8 - 61.3	30.0 - 50.0
Broń konwencjonalna	20.0 - 24.0	20.0 - 22.4	20.0 - 30.0
Broń chemiczna	10.0 - 12.0	10.0 - 11.3	15.0 - 20.0
Broń biologiczna	5.0 - 7.0	5.0 - 7.5	10.0 - 15.0
Zachorowania	3.0 - 5.0	3.7 - 5.0	3.0 - 5.0

W literaturze niewiele się mówi o tym jaką wielkość strat sanitarnych stanowią zaburzenia psychiczne. Przyjmuje się, że mogą stanowić od 0.2% do 0.3% [20].

Praktycznie struktura strat sanitarnych (podział według czynnika urazogennego) będzie określona przez jeden z czynników bojowych oraz czynniki niebojowe, gdyż względy ekonomiczne nie przemawiają za jednoczesnym stosowaniem w tym samym rejonie kilku rodzajów środków rażenia. Niemniej jednak dla spotęgowania skutków uderzeń może być jednocześnie obok broni konwencjonalnej użyta broń jądrowa (artyleria przystosowana do strzelania amunicją jądrową) czy broń chemiczna. Należy więc wartości procentowe wskaźników z tabeli 2.4. traktować jako ogólne przesłanki dla zachowania właściwych proporcji przy określaniu ilościowej struktury strat sanitarnych.

Każdy czynnik urazogenny traktowany jako "przyczyna" wywołuje określone obrażenia (skutki) organizmu ludzkiego, które zostaną objęte działalnością leczniczą. Wynika stąd potrzeba klasyfikacji strat sanitarnych wywołanych określonym czynnikiem na spowodowane "skutki". Taki wymóg spełnia klasyfikacja według podziału klinicznego, w którym starty sanitarne dzielone są ze względu na stopień zranienia na: ciężko, średnio i lekko rannych. Bardziej dokładnym jest podział przyjmujący za podstawę lokalizację obrażeń (obszary anatomiczne). Wymaga to określenia dla każdego czynnika urazogennego wszystkich obszarów organizmu ludzkiego, na które może on niszcząco oddziaływać.

Znajomość przyczyny i rodzaju obrażenia determinuje kolejne czynniki do dalszej klasyfikacji strat, które wiążą się ściśle z segregacją rannych i chorych w punktach medycznych. Dotyczyć one będą: stopnia ciężkości, profilu zranienia oraz zdolności do ewakuacji (transportu). W działalności leczniczej ze względu na specyfikę udzielanej pomocy wyróżnia się dwa zasadnicze profile: chirurgiczny i internistyczny [20]. Znajduje to odzwierciedlenie w strukturze funkcjonalnej punktów medycznych i znacznie usprawnia udzielanie pomocy medycznej. Przewiduje się, że z ogółu

strat sanitarnych 70%-75% wymagać będzie wykonania zabiegów chirurgicznych, w tym około 50% stanowić będą przypadki ciężkie [20]. Ogólnie można przyjąć, że spośród wszystkich rannych będzie:

- ciężko rannych 10 - 15%,
- średnio rannych 25 - 30%,
- lekko rannych 60%.

Znając rodzaj urazu i jego stopień ciężkości można przeprowadzić podział strat sanitarnych według kryterium zdolności poszkodowanego do ewakuacji [65]. Z tego punktu widzenia rannych i chorych można podzielić na chodzących, wymagających wywiezienia z pola walki oraz niezdolnych do transportu (z uwagi na ciężki stan). Ze względu na pozycję w jakiej należy poszkodowanych transportować dzieli się ich na leżących i siedzących. Przewiduje się, że z ogółu poszkodowanych przebywających na każdym etapie ewakuacji około 2% będzie rokowało nadzieję na wyleczenie i powrót do szeregów. Uwzględniając zmarłych od ran należy przypuszczać, że około 85% ogółu strat sanitarnych będą stanowić ranni wymagający leczenia specjalistycznego. Zatem w ramach czynności kwalifikowanej segregacji należy przeprowadzić strukturyzację strat przyjmując za podstawę podziału rodzaj pomocy specjalistycznej jakiej wymagać będą określone grupy rannych i chorych w szpitalach.

2.4. Charakterystyka czynników urazogennych

Broń konwencjonalna to duża grupa środków rażenia, których skutki działania są najbardziej znane. Do czynników rażenia zalicza się: pociski, odłamki pocisków artyleryjskich, min, bomb lotniczych, środki zapalające oraz falę uderzeniową [65], [20]. Obrażenia spowodowane bronią konwencjonalną dzieli się na: zranienia (uszkodzona powłoka ciała), kontuzje (nienaruszona powłoka ciała) oraz oparzenia.

Zranienia można podzielić na zranienia wywołane

pociskami oraz odłamkami. W zależności od głębokości przenikania pocisku rozróżnia się zranienia przenikające w głąb ciała (głowa, klatka piersiowa, brzuch) i nieprzenikające z uszkodzeniem kości dużych i stawów (lub bez uszkodzenia). Obecnie obserwuje się wzrost zranień wywołanych odłamkami, a zmniejszenie liczby ran od kul. Wraz ze wzrostem liczby zranień odłamkowych rośnie także stopień ich ciężkości.

Poza zranieniami występują również kontuzje wywołane falą podmuchu. Czynnik ten wywołuje obrażenia układu nerwowego, narządów wewnętrznych z krwotokami wewnętrznymi włącznie. Liczba kontuzji w drugiej wojnie światowej dotyczyła 3% ogółu rannych (niekiedy 5-7%).

Oparzenia wywołane są działaniem środków zapalających lub wtórnymi pożarami. W drugiej wojnie światowej stanowiły 1% ogółu strat. W wojnie izraelsko-egipskiej wynosiły już 10-15% ogółu rannych. Obecnie przyjmuje się, że oparzenia będą stanowiły 20-25% strat spowodowanych bronią konwencjonalną. Oprócz izolowanych zranień i oparzeń występują także obrażenia mieszane (wielonarządowe) jak: zranienia, kontuzje i oparzenia. Struktura strat od broni konwencjonalnej, uwzgędniająca powyższe grupy urazów, przedstawia się nastepująco [65], [21], [19]:

- zranienia 50 - 60%,
- kontuzje 5 - 10%,
- oparzenia 10 - 15%,
- urazy mieszane 20 - 25%.

Procentowa struktura strat z podziałem na okolice ciała, w wybranych bitwach 1 armii WP [37], przedstawiona jest w tabeli 2.5.. Tabela 2.6. zawiera zestawienie struktury strat (ze względu na okolice ciała) według danych z [65], z czasów drugiej wojny światowej, i średnich wartości strat z tabeli 2.5..

Tabela 2.5.

MIEJSCE ZRANIENIA	DĘBLIN-PUŁAWY [%]	WALKI O PRAGĘ [%]	PRZYCZÓŁKI WARSZAWSKIE [%]	OPERACJA BERLIŃSKA [%]
Głowa, szyja	8.5	13.3	17.5	13.5
Klatka piersiowa	13.5	13.7	11.3	10.5
Brzuch	2.6	6.0	5.0	4.2
Kręgosłup	0.8	0.6	1.7	1.3
Kończyny górne	37.0	25.5	28.6	17.5
Kończyny dolne	33.0	38.4	32.4	36.6
Miednica	4.6	2.5	3.5	6.4

Tabela 2.6.

MIEJSCE ZRANIENIA	STRUKTURA STRAT wg [65] [%]	STRUKTURA STRAT wg TABELI 2.5. [%]
Głowa, szyja	10.3	13.2
Klatka piersiowa	8.5	12.3
Brzuch	3.0	4.4
Kręgosłup	0.9	1.1
Kończyny górne	36.0	29.6
Kończyny dolne	35.0	35.1
Miednica	6.3	4.3

Broń jądrowa jest najskuteczniejszym środkiem rażenia powodującym (jednoczasowo) natychmiastowe wysokie straty. Obecnie w ładunki jądrowe są wyposażone nie tylko bomby lotnicze i głowice rakiet ale również pociski artyleryjskie.

Tendencja do zmniejszania mocy ładunku (mikro-ładunki) z jednej strony ogranicza rozmiary zniszczeń ale z drugiej

strony zwiększa zagrożenie użycia tej broni w strefie działań taktycznych. Do czynników rażących zalicza się: falę uderzeniową, promieniowanie cieplne, promieniowanie jonizujące oraz skażenie promieniotwórcze [46], [21], [57].

Rażące działanie fali uderzeniowej na organizm ludzki może być bezpośrednie i pośrednie. W wyniku przejścia czoła fali uderzeniowej (zmiany ciśnienia) powstaną krwotoki, pęknięcia narządów wewnętrznych oraz zranienia. Promieniowanie cieplne będzie wywoływać oparzenia o różnych stopniach ciężkości. Wynikiem oddziaływania promieniowania przenikliwego będzie choroba popromienna o różnym stopniu ciężkości w zależności od pochłoniętej dawki promieniowania jonizującego. Ponadto porażenie ludzi następuje wskutek dostania się substancji promieniotwórczych do wnętrza organizmu przez drogi oddechowe i przewód pokarmowy. Skutkiem jednoczesnego działania na ludzi wszystkich czynników powstaną obrażenia wielonarządowe. Wielkość i struktura strat ogólnych w zależności od rodzaju i mocy wybuchu, ugrupowania wojsk oraz rodzaju środków ochrony przedstawiona jest w opracowaniu [46]. Podział strat według stopnia ciężkości z uwzględnieniem wyżej wymienionych parametrów przedstawia tabela 2.7..

Tabela 2.7.

MOC WYBUCHU NAZIEMNEGO W [KT]	STRUKTURA PORAŻEŃ W [%]			
	ŚMIERTELNE	CIĘŻKIE	ŚREDNIE	LEKKIE
1	5	80	15	--
10	25	60	15	--
100	22	27	29	22

Przewidywaną strukturę strat sanitarnych spowodowanych bronią jądrową przedstawia tabela 2.8. [21],[19].

Tabela 2.8.

CHARAKTER PORAŻEŃ	STRUKTURA PORAŻEŃ wg [21] [%]	STRUKTURA PORAŻEŃ wg [19] [%]
Urazy	4	5
Oparzenia	6	6
Ostra choroba popromienna	4	6
Urazy mieszane	86	83

Orientacyjny rozkład strat sanitarnych według obszaru ciała wywołany falą uderzeniową[1] przedstawia tabela 2.9..

Tabela 2.9.

MIEJSCE URAZU	MOC WYBUCHU W [kt] 1 [%]	10 [%]	100 [%]
Głowa	70	60	40
Kończyny	5	10	20
Klatka piersiowa	3	6	13
Kręgosłup	1	2	4
Brzuch i miednica	1	2	3
psychozy	20	20	20

Nowym rodzajem broni jądrowej jest broń neutronowa. Czynniki rażące dzaiałania broni neutronowej są takie same jak broni jądrowej. Jednakże występuje zasadnicza zmiana w proporcjach rozkładu energii na poszczególne czynniki rażenia. Zwielokrotnia się zasięg promieniowania przeni-

[1] Ludzie rozmieszczeni w terenie poza ukryciami.

kliwego. Sądzi się, że ulegnie zmianie proporcja strat bezpowrotnych do sanitarnych. Niewspółmiernie wzrosną straty bezpowrotne. Przypuszcza się, że przy dawce promieniowania 450R śmiertelność może wynosić około 50% rannych. W ogólnej strukturze zranień wzrośnie liczba zranień o profilu internistycznym [18].

Broń chemiczna to środki trujące i zapalające. Środkami tymi napełnia się głowice rakiet, kasety, bomby, pociski itp.. Objawy porażenia ludzi bronią chemiczną są bardzo różnorodne w zależności od tego, jakiego rodzaju środek został użyty [46]. Mogą one wystąpić natychmiast lub po pewnym czasie z różnym stopniem ciężkości. Środki trujące dzieli się na:

a) paralityczno-drgawkowe - powodujące porażenia układu nerwowego,
b) parzące - powodujące przede wszystkim oparzenia skóry a także zatrucia ogólne,
c) drażniące - wywołujące podrażnienia dróg oddechowych i oczu,
d) psychochemiczne - porażające centralny układ nerwowy, powodując zaburzenia psychiczne i fizyczne o charakterze czasowym.

Środki zapalające stanowią grupę różnych związków i mieszanin chemicznych, które podczas spalania wywołują oparzenia pod wpływem wysokiej temperatury. W przewidywanej strukturze strat sanitarnych spowodowanych bronią chemiczną środki grupy fosforoorganicznej stanowią 90-95% a środki parzące 5-10% ogółu strat [56].

Broń biologiczna[2] - pomimo zawartych umów zakazujących jej stosowania była użyta przez Japończyków w drugiej wojnie światowej (epidemie dżumy i cholery). Ze względu na łatwość przygotowania i stosowania należy rozważyć skutki jej użycia

---

[2] W 1973r. zawarto międzynarodową konwencję o zakazie użycia broni biologicznej.

[65]. Do środków rażenia zalicza się: mikroorganizmy chorobotwórcze oraz toksyny biologiczne [56]. Broń biologiczna może być stosowana w postaci suchej lub płynnej w bombach, głowicach rakiet, amunicji biologicznej itp.. Uważa się, że największe znaczenie będą miały te zarazki, które mogą być rozprzestrzeniane drogą powietrzną. Środki biologiczne przenikają do organizmu drogą oddechową, pokarmową oraz kontaktową. Straty od broni biologicznej w całości zalicza się do strat sanitarnych [46]. Z uwagi na długi okres inkubacji (wyłączając toksyny) nie prowadzi się szacunków wielkości strat sanitarnych. Według aktualnych ocen w strukturze strat porażenia toksynami stanowią 50-70% natomiast porażenia żywymi zarazkami stanowią 30-50%.

Zachorowania stanowią grupę strat sanitarnych i dotyczą chorób wywołanych czynnikami niebojowymi. Do grupy tej zalicza się choroby wewnętrzne , zakaźne (nie związane z działaniem broni biologicznej), skórno-weneryczne i inne. Liczba zachorowań szacowana jest na podstawie liczby chorych w okresie wcześniejszym. Zależy ona od stanu sanitarno-higienicznego i epidemiologicznego wojsk i rejonu ich działania, a także od poziomu działalności profilaktycznej. W zależności od intensywności zachorowań żołnierzy na ostre choroby zakaźne stan sanitarno-epidemiczny określa się jako: pomyślny, niepewny, niepomyślny lub nadzwyczajny. Wpływ powyższych czynników na zachorowalność żołnierzy jest omówiony w pracy [22]. W czasie drugiej wojny światowej, na europejskim teatrze działań, zachorowania stanowiły niewielki odsetek strat sanitarnych. W 1 armii WP w okresie od lipca 1944 do maja 1945 liczba zachorowań na choroby zakaźne (tabela 2.10.) w poszczególnych miesiącach kształtowała się następująco [22]:

Tabela 2.10.

Miesiąc	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Liczba chorych	920	431	658	453	252	190	144	150	148	292	120

Do najczęściej występujących chorób należały: czerwonka bakteryjna, dur brzuszny, dury rzekome, zatrucia pokarmowe, dur plamisty, zimnica świeża i nawrotowa [22].

W bitwach stoczonych przez 1 armię WP procentowe udziały rannych i chorych w stratach ogólnych oraz proporcje chorych do rannych przedstawione są w tabeli 2.11..

Przewiduje się, że zachorowania żołnierzy będą się zawierać w granicach od 0.08-0.3% stanu osobowego na dobę. Przeciętnie przyjmuje się 0.1%. W niepomyślnych warunkach sanitarno-higienicznych i epidemicznych w związkach taktycznych zachorowania mogą stanowić od 0.2% do 0.8% żołnierzy.

Tabela 2.11.

MIEJSCE WALK	RANNI [%]	CHORZY [%]	STSUNEK CHORYCH DO RANNYCH
Dęblin - Puławy	45.5	7.2	1:6.3
Przyczółek warecko-magnuszewski	56.1	21.5	1:2.6
Kołobrzeg	65.0	6.0	1:10.8
Organizacja operacji berlińskiej wg [23]	41.9	44.0	1:0.95
Operacja berlińska [23]	63.0	6.0	1:10.5

Zaburzenia psychiczne w dotychczasowych działaniach wojennych pod względem ilościowym nie stanowiły problemu. W literaturze zaledwie sygnalizowano ich istnienie. Obecnie straty sanitarne tego rodzaju oceniane są na 0.2% na dobę walki w odniesieniu do stanu osobowego [21]. Ich wystąpienie wiąże się przede wszystkim z użyciem broni jądrowej.

Według B. Pałęckiego zachwiania równowagi psychicznej (porażenia psychiczne) są niejako piątym czynnikiem rażenia broni jądrowej [44]. Pod pojęciem zachwiania równowagi psychicznej rozumie on wszelkie zaistniałe zmiany w centralnym układzie nerwowym człowieka, które zewnętrznie objawiać się będą w postaci: popłochu, paniki, rozstroju

nerwowego itp.. Źródłem powstawania zmian w psychice żołnierzy będą efekty wzrokowe, dźwiękowe i emocjonalne (ranni, zabici, zniszczenia, pożary). W zależności od rodzaju wybuchu i mocy ładunku jądrowego autor określa promienie stref porażeń psychicznych (w odniesieniu do centrum wybuchu). Każdej strefie przypisuje stopień ciężkości porażenia psychicznego, procent porażonych wymagających hospitalizacji oraz orientacyjny czas niezdolności bojowej porażonych żołnierzy (tabela 2.12.).

Tabela 2.12.

NAZWA STREFY	PROCENT PORAŻONYCH WYMAGAJĄCYCH HOSPITALIZACJI	ORIENTACYJNY CZAS NIEZDOLNOŚCI BOJOWEJ
B. silnych zmian psychicznych	100%	do 30 dni
Silnych zmian psychicznych	50 - 60%	3 - 5 dni
Średnich zmian psychicznych	20 - 30%	8 - 26 godz
Słabych zmian psychicznych	-----	1 - 4 godz

Na podstawie rozważań autora dotyczących porażeń psychicznych należy przypuszczać, że będą one stanowić duży procent stanu osobowego jednostek.

2.5 Struktura organizacyjna i funkcjonalna systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego

2.5.1. Organizacja służby zdrowia

Organem kierowniczym wojskowej służby zdrowia jest szef (szefostwo) służby zdrowia. Struktura organizacyjna odpowiada strukturze organizacyjnej wojsk operacyjnych (rysunek 2.1.). Szefowie służby zdrowia (starsi lekarze, lekarze) na poszczególnych poziomach struktury organizacyj-

nej są niejako podwójnie podporządkowani [20]. Pod względem służbowym do szczebla oddziału - dowódcom, a od szczebla związku taktycznego - kwatermistrzom odpowiedniego poziomu dowodzenia. Pod względem fachowym podlegają szefom służby zdrowia (starszym lekarzom) bezpośrednio nadrzędnego szczebla dowodzenia.

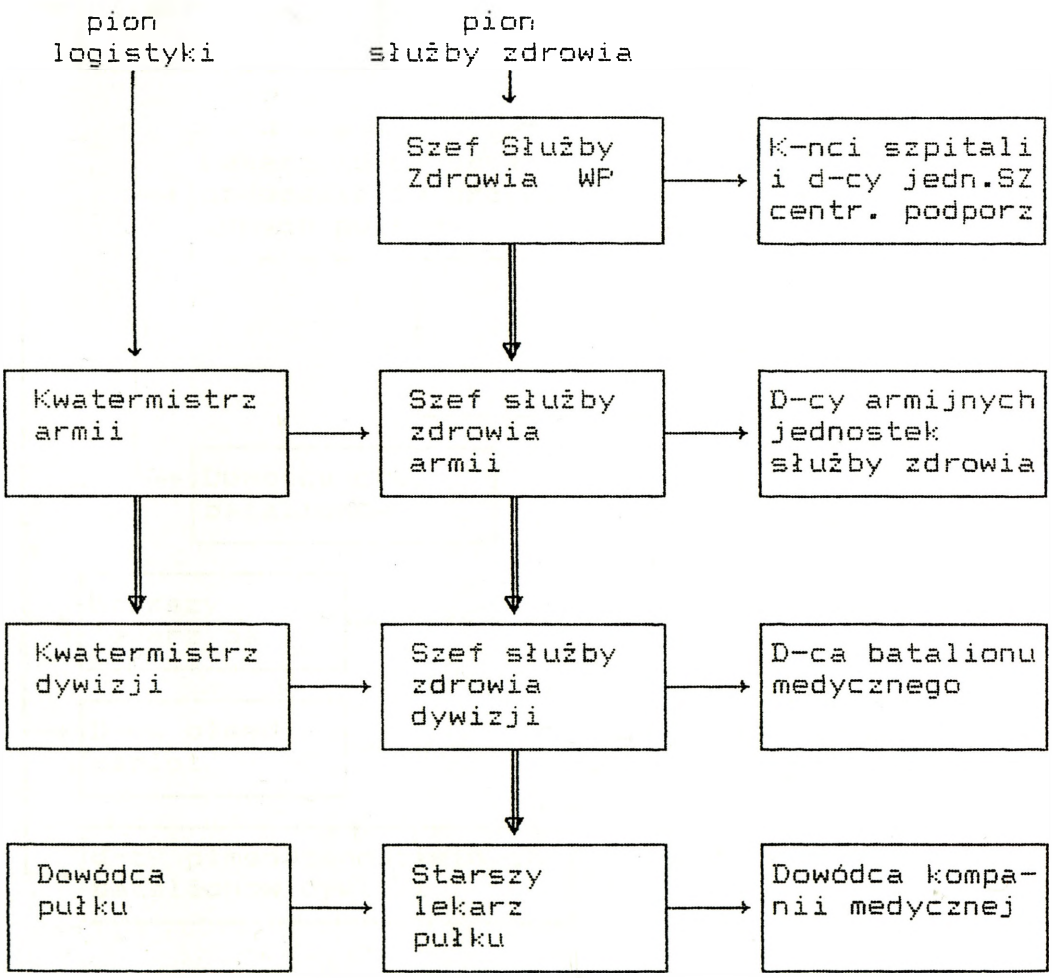
W działaniach bojowych służba zdrowia jest organizatorem zabezpieczenia medycznego każdego szczebla struktury organizacyjnej wojsk, z uwzględnieniem wszystkich rodzajów prowadzonych przez nie działań.

Istotą zabezpieczenia medycznego jest udzielanie we właściwym czasie pomocy medycznej rannym i chorym, ich ewakuacja a także zapobieganie powstawaniom i szerzeniu się zachorowań żołnierzy [30]. W tym celu służba zdrowia realizuje zadania obejmujące:

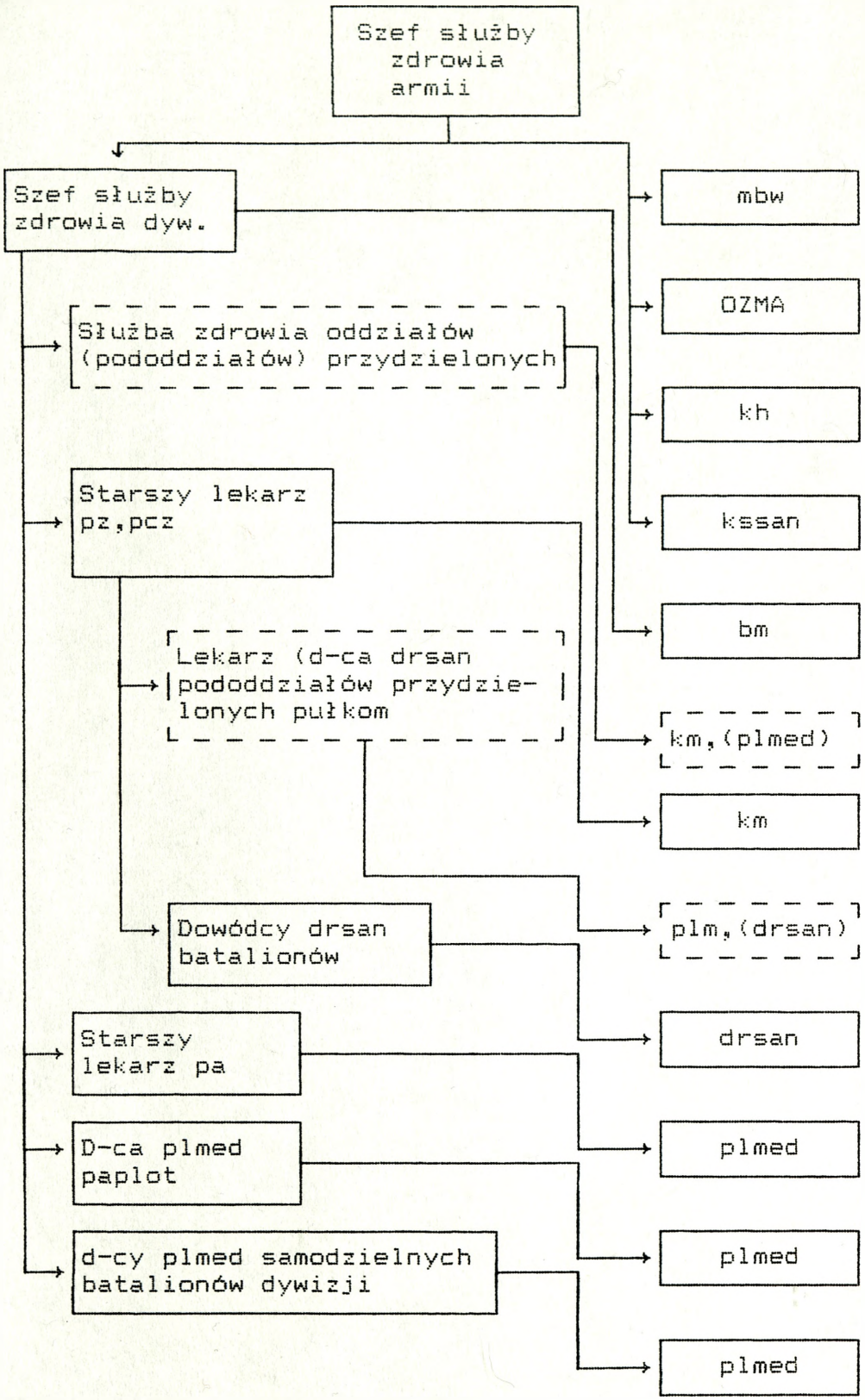
- działalność leczniczo-ewakuacyjną,
- działalność sanitarno-higieniczną i przeciwepidemiczną,
- ochronę wojsk przed bronią masowego rażenia,
- zaopatrywanie w sprzęt i materiały medyczne,
- kierowanie służbą zdrowia.

Zabezpieczenie medyczne działań bojowych wojsk jest złożonym i obszernym zagadnieniem. W niniejszej pracy rozpatrywana będzie działalność służby zdrowia szczebla taktycznego, odniesiona do jej głównego zadania tj. zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych. Struktura organizacyjna służby zdrowia związku taktycznego [19] przedstawiona jest na rysunku 2.2.. Pracą służby zdrowia dywizji kieruje szef służby zdrowia. Podlega on służbowo kwatermistrzowi dywizji, a fachowo szefowi służby zdrowia armii. Szefowi służby zdrowia dywizji podlega służbowo i fachowo dowódca batalionu medycznego. Batalion medyczny rozwija dywizyjny punkt medyczny (DPM), w którym kompania w składzie: 2 plutonów segregacyjnych, 2 plutonów chirurgicznych, plutonu szpitalnego i drużyny ewakuacyjnej udziela rannym i chorym kwalifikowanej pomocy medycznej o profilu chirurgicznym i internistycznym.

Niezależnie od typu związku taktycznego przyjęte jest, że na szczeblu oddziału pracą służby zdrowia kieruje starszy lekarz (dowódca plutonu medycznego) podlegający służbowo dowódcy oddziału, a pod względem fachowym szefowi służby zdrowia związku taktycznego. Starszemu lekarzowi (dowódcy plutonu medycznego) podlega służbowo kompania medyczna lub pluton medyczny. Plutony medyczne mogą różnić się liczebnie obsadą etatową personelu medycznego w zależności od rodzaju oddziału oraz jego przeznaczenia. W działaniach bojowych kompania medyczna (pluton medyczny) rozwija pułkowy punkt medyczny (PPM) udzielający rannym i chorym pierwszej pomocy lekarskiej.



Rys. 2.1. Struktura organizacyjna służby zdrowia wojsk operacyjnych.



Rys. 2.2. Struktura organizacyjna służby zdrowia ugrupowania bojowego związku taktycznego.

W skład kompanii medycznej wchodzi pluton rozwijający PPM oraz drużyna ewakuacyjna. Plutony medyczne samodzielnych batalionów, dywizjonów związku taktycznego rozwijają również punkty medyczne typu PPM, w których udziela się pierwszej pomocy lekarskiej. Ostatnim elementem struktury organizacyjnej służby zdrowia związku taktycznego mogącym rozwijać punkt medyczny jest drużyna sanitarna batalionu zmechanizowanego (czołgów). Dowódca drużyny sanitarnej podlega służbowo dowódcy batalionu, a w pionie służby zdrowia starszemu lekarzowi. Udziela ona pomocy przedlekarskiej w punktach zbiórki rannych lub w rozwiniętym przez siebie batalionowym punkcie medycznym (bpm). W omawianej strukturze organizacyjnej służby zdrowia związku taktycznego ujęte są tylko etatowe pododdziały medyczne. Rozpatrując ugrupowanie bojowe związku taktycznego należy uwzględnić również służbę zdrowia brygad, oddziałów i pododdziałów przydzielonych (znajdujących się w pasie działania dywizji) a także przydzielone siły służby zdrowia ze szczebla armii. Służba zdrowia oddziałów i pododdziałów przydzielonych jest podporządkowana szefowi służby zdrowia dywizji (na szczeblu oddziałów starszemu lekarzowi) i będzie udzielała pomocy medycznej w rozwiniętych własnymi siłami punktach medycznych.

Do armijnych jednostek służby zdrowia, które mogą być użyte przez szefa służby zdrowia armii w celu medycznego wsparcia rejonu taktycznego zalicza się:

- medyczny batalion wzmocnienia,
- oddział zabezpieczenia medycznego armii,
- kompanię hospitalizacyjną,
- kompanię samochodów sanitarnych.

Medyczny batalion wzmocnienia (mbw) Rozwija punkt medyczny o strukturze i zadaniach jak DPM [19], [28], [18]. Przy dwukompanijnej strukturze batalionu, mbw może rozwinąć dwa punkty medyczne typu DPM.

Oddział zabezpieczenia medycznego armii (OZMA) przeznaczony jest do wzmocnienia DPM i rozwiniętych mbw przez przydzielenie im grup ogólnochirurgicznych i lekarzy specjalistów oraz sanitariuszy [19], [29], [18]. Jeżeli zaistnieje

potrzeba jest w stanie rozwinąć punkt medyczny typu PPM.

Kompania hospitalizacyjna (kh) składa się z grup hospitalizacyjnych, których zadaniem jest przejęcie rannych i chorych z przeciwwskazaniami do ewakuacji w kończących pracę DPM (mbw) [28], [18]. Przejęcie rannych przez grupy hospitalizacyjne umożliwi w razie konieczności przesunięcie DPM (mbw) do nowego rejonu pracy.

Kompania samochodów sanitarnych (kssan) jest jednostką transportu sanitarnego przeznaczoną do ewakuacji rannych i chorych (szczególnie z DPM do szpitali) [19], [18].

Przydzielone siły i środki służby zdrowia ze szczebla armii mogą być traktowane jako odwód szefa służby zdrowia dywizji umożliwiający:

- manewr punktami medycznymi,
- manewr siłami w ramach punktu medycznego,
- zwiększenie możliwości ewakuacyjnych w rejonie taktycznym.

2.5.2. Charakterystyka zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego

Zabezpieczenie leczniczo-ewakuacyjne to zespół określonych czynności wykonywanych przez wojskową służbę zdrowia. Polegają one na udzielaniu pomocy oraz leczeniu rannych i chorych żołnierzy w kolejnych punktach pomocy medycznej, w połączeniu z efektywnie prowadzoną ewakuacją medyczną [18], [20]. Zabezpieczenie leczniczo-ewakuacyjne organizowane jest według "systemu leczenia etapowego z ewakuacją na kierunku". Koncepcja ta łączy dwa przeciwstawne podejścia w organizacji działalności leczniczej [65]:

- leczenie "na miejscu",
- leczenie "po ewakuowaniu" z rejonu walki.

System leczenia "na miejscu" (przyjęty w lecznictwie cywilnym) najbardziej spełnia oczekiwania i wymagania poszkodowanych. Wzrost liczby strat sanitarnych oraz możliwość oddziaływania środków rażenia przeciwnika na całą głębokość

rejonu taktycznego działań, stwarza niepomyślne warunki pracy służby zdrowia w rejonach powstawania strat sanitarnych. Przyczyny te doprowadzają do ograniczenia leczenia "na miejscu" - najbardziej celowego z medycznego punktu widzenia i stosowania systemu leczenia w połączeniu z ewakuacją. Połączenie działalności leczniczej z ewakuacją rannych umożliwia w miarę szybkie udzielenie pomocy (przynajmniej w niezbędnym zakresie) oraz wyprowadzenie rannych z rejonu zagrożenia. W postępowaniu leczniczo-ewakuacyjnym działalność personelu leczniczego rozdzielona jest na szereg czynności wykonywanych na kolejnych etapach ewakuacji.

Etap ewakuacji medycznej stanowi rozwinięty w rejonie działań bojowych punkt medyczny (szpital polowy) przygotowany do przyjmowania, segregacji rannych, udzielania im pomocy medycznej i przygotowania ich do dalszej ewakuacji [20], [19]. Cechą charakterystyczną takiej organizacji pracy służby zdrowia jest to, że poszkodowany otrzymuje niezbędną pomoc we właściwym czasie, zgodnie z ustalonymi jednolitymi metodami leczenia, w zależności od posiadanych sił i środków. Na każdym etapie ewakuacji medycznej, działającym w rejonie taktycznym, według obowiązującego systemu leczenia zapewnia się uzyskanie w nakazanym zakresie odpowiedniego rodzaju pomocy medycznej oraz prowadzi się segregację oraz ewakuację rannych i chorych żołnierzy. W obecnie obowiązującym systemie zabezpieczenia medycznego w rejonie taktycznym dla wszystkich rannych (poza chorymi zakaźnie) obowiązuje ewakuacja na kierunku (z braku środków). W "systemie leczenia etapowego z ewakuacją na kierunku" rozwijane są następujące punkty medyczne:

- bpm - batalionowy punkt medyczny,
- PPM - pułkowy punkt medyczny,
- DPM - dywizyjny punkt medyczny.

Ranni przed uzyskaniem pomocy na etapach ewakuacji medycznej otrzymują pierwszą pomoc już na polu walki, w formie samopomocy, pomocy koleżeńskiej lub pomocy udzielanej przez sanitariusza . Pierwszym etapem ewakuacji medycznej

jest batalionowy punkt medyczny, gdzie drużyna sanitarna[3] udziela pomocy przedlekarskiej [20], [19], [56]. Zakłada się, że pomoc ta zostanie udzielona w czasie 20-40 minut od chwili powstania obrażenia. Z rejonu batalionu wszystkich rannych ewakuuje się do pułkowego punktu medycznego, gdzie otrzymują pierwszą pomoc lekarską. Pierwsza pomoc lekarska winna być udzielona w czasie 2-4 godzin od chwili powstania obrażenia. Pierwsza pomoc, pomoc przedlekarska i pierwsza pomoc lekarska mają za zadanie podtrzymać czynności życiowe organizmu rannego (chorego) i zapobiegać powstawaniu powikłań [65]. Istotną jest ewakuacja rannego do dywizyjnego punktu medycznego, w którym otrzyma pomoc lekarską kwalifikowaną. Pomoc w DPM (lub rozwiniętym medycznym batalionie wzmocnienia) powinna być udzielona w okresie od 4 do 6 godzin po zranieniu. DPM, rozwijany w rejonie tyłów dywizji w znacznej odległości od linii styczności wojsk, dysponuje wykwalifikowanym personelem i odpowiednim wyposażeniem medycznym; czyli ma warunki do wykonywania zabiegów chirurgicznych i internistycznych, prowadzenia czynności przeciwwstrząsowych, a także do czasowej hospitalizacji niezdolnych do ewakuacji. Kwalifikowana pomoc medyczna musi być udzielona tym wszystkim, którzy wymagają jej "ze wskazań życiowych". Dywizyjny punkt medyczny jest ostatnim etapem "ewakuacji medycznej na kierunku"; dalej ranni i chorzy ewakuowani są według wskazań lekarskich do odpowiednich szpitali.

Każdy etap ewakuacji medycznej zgodnie z przeznaczeniem zapewnia uzyskanie określonego rodzaju pomocy medycznej. Przy niewielkim napływie rannych i chorych pomoc taka może być udzielona w pełnym zakresie. Natomiast przy niestabilnej sytuacji bojowej, częstym przegrupowaniu etapów oraz intensywnym napływie rannych, udzielenie określonego

---

[3] Drużyna sanitarna w natarciu nie rozwija bpm. Pomocy przedlekarskiej udziela w "gniazdach rannych" stale podążając za nacierającymi wojskami. W obronie pomoc udzielana jest w rozwiniętym batalionowym punkcie medycznym.

rodzaju pomocy w pełnym zakresie będzie trudne do wykonania. Wynika stąd potrzeba zawężenia pomocy udzielanej na etapie ewakuacji medycznej do wskazań życiowych a niekiedy obniżenia rodzaju pomocy.

Zakres pomocy medycznej określa całokształt czynności leczniczo-profilaktycznych wykonywanych na danym etapie ewakuacji medycznej w zależności od sytuacji taktyczno-medycznej (liczby strat sanitarnych). Wyróżnia się w zasadzie dwa zakresy pomocy medycznej:

- pełny, w którym zakłada się udzielenie pomocy medycznej danego rodzaju 50% rannych i chorych przybyłych na etap;
- zawężony do wskazań życiowych, w którym zakłada się udzielenie pomocy medycznej określonego rodzaju 10-15% rannych i chorych przybyłych na dany etap ewakuacji.

Batalionowy punkt medyczny (drsan) udziela pomocy w pełnym lub obniżonym zakresie. Przy pełnym zakresie pomocy wykonuje się czynności w ramach pomocy przedlekarskiej, a przy ograniczonym zakresie będzie to pierwsza pomoc.

W PPM przy pełnym zakresie pomocy udziela się pierwszej pomocy lekarskiej, przy ograniczonym zakresie - pierwszej pomocy lekarskiej ze wskazań życiowych, natomiast przy zakresie obniżonym udziela się pomocy przedlekarskiej.

W DPM pełny zakres pomocy oznacza świadczenie czynności leczniczych objętych mianem kwalifikowanej pomocy medycznej o profilu chirurgicznym i internistycznym; przy ograniczonym zakresie pomocy, kwalifikowana pomoc medyczna udzielana jest ze wskazań życiowych. Przy obniżonym zakresie pomocy rannym i chorym udziela się pierwszej pomocy lekarskiej (kwalifikowana segregacja).

W leczeniu etapowym z ewakuacją według wskazań bardzo ważną czynnością usprawniającą proces udzielania pomocy jest segregacja medyczna. Polega ona na rozdzieleniu napływających rannych i chorych na grupy wymagające jednorodnych zabiegów leczniczych i ewakuacyjnych zgodnie ze wskazaniami lekarskimi i zakresem pomocy [65], [56]. Przeprowadzanie

segregacji medycznej na poszczególnych etapach ewakuacji ma na celu:

- określenie charakteru, zakresu i kolejności pomocy medycznej w jakiej należy jej udzielać (segregacja diagnostyczna);
- określenie kolejności ewakuacji, środka transportu oraz pozycji w jakiej należy ewakuować rannego na następny etap (segregacja ewakuacyjno-transportowa);
- określenie porządku udzielania pomocy poszkodowanym w elementach funkcjonalnych punktu medycznego (segregacja wewnątrz-punktowa).

Po otrzymaniu pomocy, na danym etapie ewakuacji medycznej, ranni i chorzy będą ewakuowani na dalsze leczenie do następnego etapu lub szpitala. Do ewakuacji wykorzystuje się środki transportu sanitarnego oraz transport ogólnego przeznaczenia. Podstawowym środkiem transporu są samochody sanitarne. Na współczesnym polu walki duże znaczenie dla ewakuacji posiadają lotnicze środki transportowe a zwłaszcza śmigłowce. Transport ogólnego przeznaczenia wykorzystuje się do ewakuacji rannych, gdy potrzeby ewakuacyjne przekraczają możliwości transporu sanitarnego. W strefie działań taktycznych poszkodowanych ewakuuje się "na kierunku", poprzez kolejne etapy ewakuacji medycznej, do DPM. Ogólnie obowiązuje sposób ewakuacji ze szczebla niższego środkami szczebla wyższego zwany sposobem "na siebie".

Ewakuacja sposobem "od siebie" polega na organizacji ewakuacji medycznej rannych do szczebla wyższego środkami transportu szczebla niższego i dotyczy głównie oddziałów wojskowych występujących poza ogólnowojskowymi związkami taktycznymi.

Organizację ewakuacji, zapotrzebowanie na środki transportu ustala się podczas planowania zabezpieczenia medycznego. Zakłada się, że w ogniwach: pododdział, odddział, związek taktyczny 60% rannych i chorych będzie wymagało ewakuacji transportem sanitarnym a 40-50% transportem ogólnego przeznaczenia. Podstawą do określenia potrzeb na środki transporu jest liczba rannych wymagających ewakuacji,

liczba rejsów w czasie doby oraz możliwości ewakuacyjne danego środka transportu [30]. Zapotrzebowanie na transport sanitarny szacuje się według następującej zależności:

$$P_{tm} = \frac{S \cdot K \cdot R}{P \cdot D}$$

Gdzie:

P_{tm} – potrzebna liczba samochodów sanitarnych,
S – liczba rannych wymagających ewakuacji,
K – współczynnik zapotrzebowania na ewakuację transportem sanitarnym,
R – średnia długość rejsu,
P – pojemność samochodu (liczba miejsc),
D – odległość jaką może przejechać samochód w ciągu doby.[4]

2.5.3. Dowodzenie służbą zdrowia

Organizacja zabezpieczenia medycznego, wykorzystanie sił i środków służby zdrowia, podczas prowadzenia przez wojska działań bojowych, w dużym stopniu zależą od sprawnego dowodzenia. Dowodzenie służbą zdrowia określa się jako zespół czynności wykonywanych przez szefa służby zdrowia (starszego lekarza), mających na celu racjonalne wykorzystanie podporządkowanych mu sił i środków dla zabezpieczenia medycznego działań bojowych wojsk [20]. Dowodzenie – to zarówno planowanie zabezpieczenia medycznego jak i kierowanie służbą zdrowia w trakcie działań bojowych.

W dowodzeniu służbą zdrowia rozpatrywane będą tylko te elementy decyzyjne, które mają wpływ na organizację oraz

---

[4] Przyjmuje się, że transport sanitarny szczebla taktycznego może przebyć w ciągu doby od 100 do 150 km, tzn. wykonać około 3–4 rejsów.

realizację zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego. Stanowić one będą źródło informacji decyzyjnych dla modelu symulacyjnego zabezpiecznia leczniczo-ewakuacyjnego. Efektem planowania zabezpieczenia medycznego jest plan zabezpieczenia medycznego, w którym określa się zakres, organizację i sposoby realizacji zadań przez służbę zdrowia [56]. Składa się on z trzech części: graficznej, tabelarycznej i opisowej.

Graficzną część planu stanowi mapa z naniesioną sytuacją taktyczno-medyczną dotyczącą: ugrupowania bojowego, linii rozgraniczenia, zadań wojsk, rubieży rozwinięcia punktów medycznych, dróg ewakuacji oraz rozmieszczenia odwodów medycznych. W części opisowej planu określa się [20]:

- zakres pomocy medycznej na poszczególnych etapach ewakuacji,
- organizację ewakuacji i sposób wykorzystania środków transportu,
- wykorzystanie sił i środków służby zdrowia oraz manewr nimi w czasie działań,
- przydział wzmocnienia do pierwszorzutowych jednostek,
- stan sanitarno-epidemiczny wojsk i rejonu ich działania.

W części tabelarycznej opracowuje się tabelę przewidywanych strat sanitarnych (wysokość i dynamika) oraz tabelę możliwości i potrzeb służby zdrowia.

Plan zabezpieczenia medycznego stanowi podstawę w dowodzeniu służbą zdrowia podczas działań bojowych. W trakcie realizacji założeń planu zabezpieczenia medycznego dowodzenie służbą zdrowia polega na reagowaniu na zmianę sytuacji taktyczno-medycznej. Wiąże się to z podejmowaniem decyzji dotyczących:

- manewru siłami i środkami służby zdrowia,
- wzmocnienia personelem medycznym (lekarzami, sanitariuszami) określonych punktów medycznych,
- zmian zakresu pomocy medycznej.

Najczęściej stosowanym rodzajem manewru jest manewr przesunięcia punktów medycznych, który może być przeprowadzony w formie:

"Skoku" - polegającym na przesunięciu w całości punktu medycznego z jednego do drugiego miejsca działania;

"Przeskoku" - polegającym na przemiennej pracy punktów medycznych; może to mieć miejsce wtedy, gdy oddział lub związek taktyczny jest zabezpieczany przez więcej niż jeden punkt medyczny odpowiedniego szczebla;

"Nakrycia" - znajduje wyraz w przesunięciu punktu medycznego szczebla nadrzędnego do rejonu rozwinięcia określonego punktu medycznego (np. DPM rozwija się w miejscu rozwinięcia kończącego pracę PPM).

Rzadziej stosowaną formą manewru etapami jest dzielenie punktu medycznego na dwie części. Jedna działa w pierwotnym miejscu rozwinięcia, a druga w nowym rejonie, do którego dołącza pierwsza część po zakończeniu pracy. Podjęcie decyzji o przesunięciu punktu medycznego (lub jego zluzowaniu) zwykle wiąże się z:

- przekroczeniem przedziału czasu, przed upływem którego powinna być udzielona pomoc (od chwili zranienia),
- nadmiernym wydłużeniem lub skróceniem ramienia ewakuacji,
- nadmiernym "obłożeniem" rannymi punktu medycznego,
- zbyt długim czasem pracy punktu (zmęczenie personelu medycznego).

W razie zwiększonego napływu rannych i chorych nadmiernie obciążonym punktom medycznym przydziela się z odwodów medycznych służby zdrowia lekarzy (brygady chirurgiczne), sanitariuszy i transport sanitarny czyli wykonuje się manewr siłami i środkami. Manewru można dokonać drogą rozszerzenia lub zawężenia zakresu pomocy medycznej. Konieczność przeprowadzania manewru wynika stąd, że etatowe

siły i środki służby zdrowia planowane są do pracy w warunkach określanych jako średnie [65].

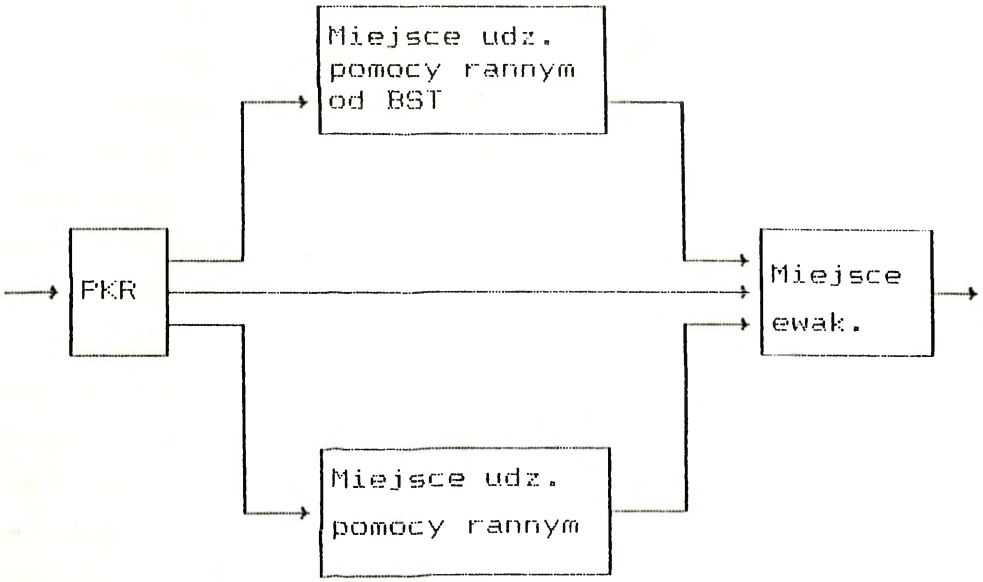
2.5.4. Charakterystyka punktów medycznych

Batalionowy punkt medyczny jest etapem ewakuacji medycznej organizowanym siłami drużyny sanitarnej pododdziału [19]. W natarciu bpm się nie rozwija. Drużyna sanitarna pracuje w ruchu w odległości 0.5 - 1.5 km od przedniego skraju, zawsze między pierwszym a drugim rzutem batalionu. Przy znacznym tempie natarcia nie będzie warunków do stacjonarnej pracy bpm. Drużyna sanitarna, podążając za wojskami, będzie udzielać pomocy poszkodowanym zgrupowanym wzdłuż drogi, po której się przesuwa. W obronie bpm jest rozwijany za ugrupowaniem bojowym batalionu w odległości 3 - 5 km od przedniego skraju. Strukturę rozwiniętego bpm[5] przedstawia rysunek 2.3. Elementami funkcjonalnymi bpm są:

- posterunek kontrolno-rozdzielczy (PKR), którego zadaniem jest segregacja rannych,
- miejsce udzielania pomocy,
- miejsce udzielania pomocy skażonym bojowymi środkami trującymi,
- miejsce dla oczekujących na ewakuację.

---

[5] Przedstawioną strukturę bpm (dalej PPM i DPM) należy uważać jako "wariant". W strukturze uwzględniono tylko te elementy funkcjonalne, które są związane z działalnością leczniczo-ewakuacyjną. Powiązania pomiędzy elementami traktowane są jako dopuszczalne drogi ruchu rannych wewnątrz punktu.



Rys. 2.3. Struktura funkcjonalna rozwiniętego bpm.

Drużyna sanitarna w ciągu godziny pracy jest zdolna udzielić pomocy przedlekarskiej około 6-8 rannym. Średni czas udzielania pomocy rannemu wynosi 10 minut. Etatowym środkiem transportu jest samochód sanitarny sześcionoszowy (dziesięcionoszowy). W zależności od pojemności samochodu jednorazowo można ewakuować 6-10 rannych. W skład drużyny sanitarnej wchodzą: sanitariusz dezynfektor, sanitariusz i kierowca.

Pułkowy punkt medyczny rozwijany jest przez kompanię medyczną oddziału lub przez kompanię medyczną (typu pułkowego) batalionu medycznego lub pluton medyczny pułku artylerii [19], [30]. W działaniach zaczepnych jest on rozwijany między pierwszym a drugim rzutem ugrupowania bojowego pułku w odległości 4-6 km od czoła wojsk. W obronie rozwija się za ugrupowaniem bojowym drugiego rzutu w odległości 8-12 km od przedniego skraju. Rozwinęty PPM (rysunek 2.4.) składa się z następujących elementów:

- posterunku kontrolno-rozdzielczego (PKR),
- punktu zabiegów sanitarnych (PZS),
- izby przyjęć i segregacji (IPiS),

- izby opatrunkowej (IO),
- sali opatrunkowej na samochodzie (SO),
- izby ewakuacyjnej (IE).

Na posterunku kontrolno-rozdzielczym dokonuje się wstępnej segregacji wewnątrzpunktowej. Kieruje się porażnych bronią masowego rażenia i rozpoznanych chorych zakaźnie odpowiednio na plac zabiegów sanitarnych lub do izolatora zakaźnego. Pozostali są kierowani do izby przyjęć i segregacji. Obsługa w ramach wstępnej segregacji wewnątrzpunktowej jednego rannego trwa od 1 do 3 minut. W ciągu godziny pracy obsługuje się od 20-60 rannych.

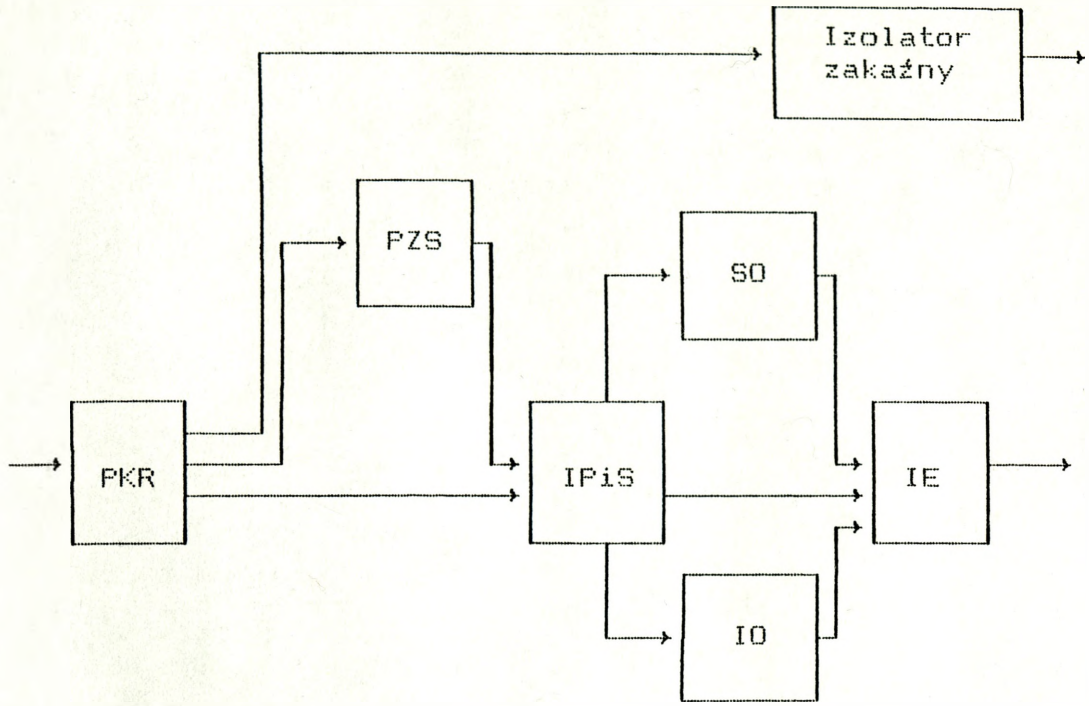
Plac zabiegów sanitarnych jest elementem , do którego kieruje się porażonych i chorych w celu wykonania częściowych zabiegów sanitarnych. Czas wykonania przez sanitariusza jednego zabiegu wynosi 3-8 minut (8-20 zabiegów na godzinę). Z placu zabiegów sanitarnych poszkodowanych kieruje się do izby przyjęć i segregacji.

Izba przyjęć i segregacji jest obsługiwana przez dwa zespoły lekarskie[6], które rannych i chorych segregują na grupy o profilu zabiegowym i zachowawczym. Możliwości segregacyjne (przy założeniu, że czas obsługi rannego wynosi 3-5 minut) dwóch zespołów łącznie wynoszą 280-480 rannych w ciągu doby. Z izby przyjęć i segregacji poszkodowani wymagający pierwszej pomocy lekarskiej kierowani są do sali lub izby opatrunkowej, natomiast pozostali do izby ewakuacji[7].

---

[6] Kompania medyczna licząca 29 osób.

[7] W przypadku masowego napływu rannych i chorych, w celu przyśpieszenia wstępnej segregacji i skrócenia czasu oczekiwania na otrzymanie pomocy, przy izbie przyjęć i segregacji organizuje się "plac wstępnej segregacji".



Rys. 2.4. Struktura funkcjonalna rozwiniętego PPM.

Do sali opatrunkowej (na samochodzie) obsługiwanej przez lekarza chirurga kieruje się rannych i chorych wymagających bardziej złożonych czynności leczniczych, głównie o profilu zabiegowym. Rannych nie wymagających tych zabiegów kieruje się w do izby opatrunkowej, w której pomocy o profilu zachowawczym udziela lekarz ogólny. Możliwości lecznicze elementów "opatrunkowych" zależą od zakresu świadczonej pomocy lekarskiej. Przyjmuje się, że zabieg lekarski udzielany "ze wskazań życiowych" rannemu bronią konwencjonalną lub jądrową trwa średnio 30 minut. Natomiast przy pełnym zakresie pomocy około 20 minut. Dobowe możliwości dwóch zespołów lekarskich wynoszą odpowiednio 48 i 72 zabiegi lecznicze.

Izba ewakuacyjna jest miejscem gdzie ranni po uzyskaniu pomocy (lub bezpośrednio z izby przyjęć i segregacji) oczekują na ewakuację. Opiekę nad oczekującymi sprawuje podoficer sanitarny.

W ciągu dnia walki w działaniach zaczepnych PPM rozwija się dwukrotnie: na rubieży wprowadzenia pułku do walki oraz po wykonaniu przez pułk zadania bliższego. W działaniach obronnych PPM przegrupowuje się do zapasowego rejonu rozwinięcia tylko wówczas, gdy po przełamaniu obrony przez przeciwnika, istnieje niebezpieczeństwo zajęcia rejonu rozwinięcia punktu medycznego. Uwzględniając wymóg, że długość ramienia ewakuacji pomiędzy bpm-ami a PPM nie powinna przekraczać 8 - 12 km, PPM może zmieniać miejsce pracy 2-3 razy na dobę.

PPM pracuje 12 godzin na dobę (2 razy po 6 godzin). Pozostały czas przeznaczony jest na przesunięcie punktu i odtworzenie gotowości do pracy.

Kompania medyczna dysponuje czterema samochodami sanitarnymi. Jednorazowa zdolność ewakuacyjna wynosi 40 rannych w tym 24 w pozycji leżącej.

Dywizyjny punkt medyczny jest organizowany przez batalion medyczny [20], [56], [28], [27]. W natarciu DPM rozwija się między pierwszym a drugim rzutem dywizji, w odległości 8 - 10 km od czoła walczących wojsk. W obronie batalion medyczny rozwija się za drugim rzutem dywizji[8] w odległości 20 - 30 km. Rozwinięty DPM (rysunek 2.5.) posiada następujące elementy funkcjonalne:

- posterunek kontrolno-rozdzielczy (PKR),
- punkt zabiegów sanitarnych (PZS),
- oddział segregacyjno-ewakuacyjny:
  - izba przyjęć i segregacji (IPiS),
  - sala ewakuacyjna (OE),
- blok operacyjny (B.Oper.),
- blok opatrunkowy (B.Opatr.),

---

[8] Na kierunkach zagrożonych rozwija się jednocześnie dwa etapy udzielające kwalifikowanej pomocy medycznej, które pracują równolegle. Pierwszym etapem jest DPM rozwijany przez batalion medyczny. Drugi rozwija kompania medyczna z mbw w odległości 40-45 km od przedniego skraju.

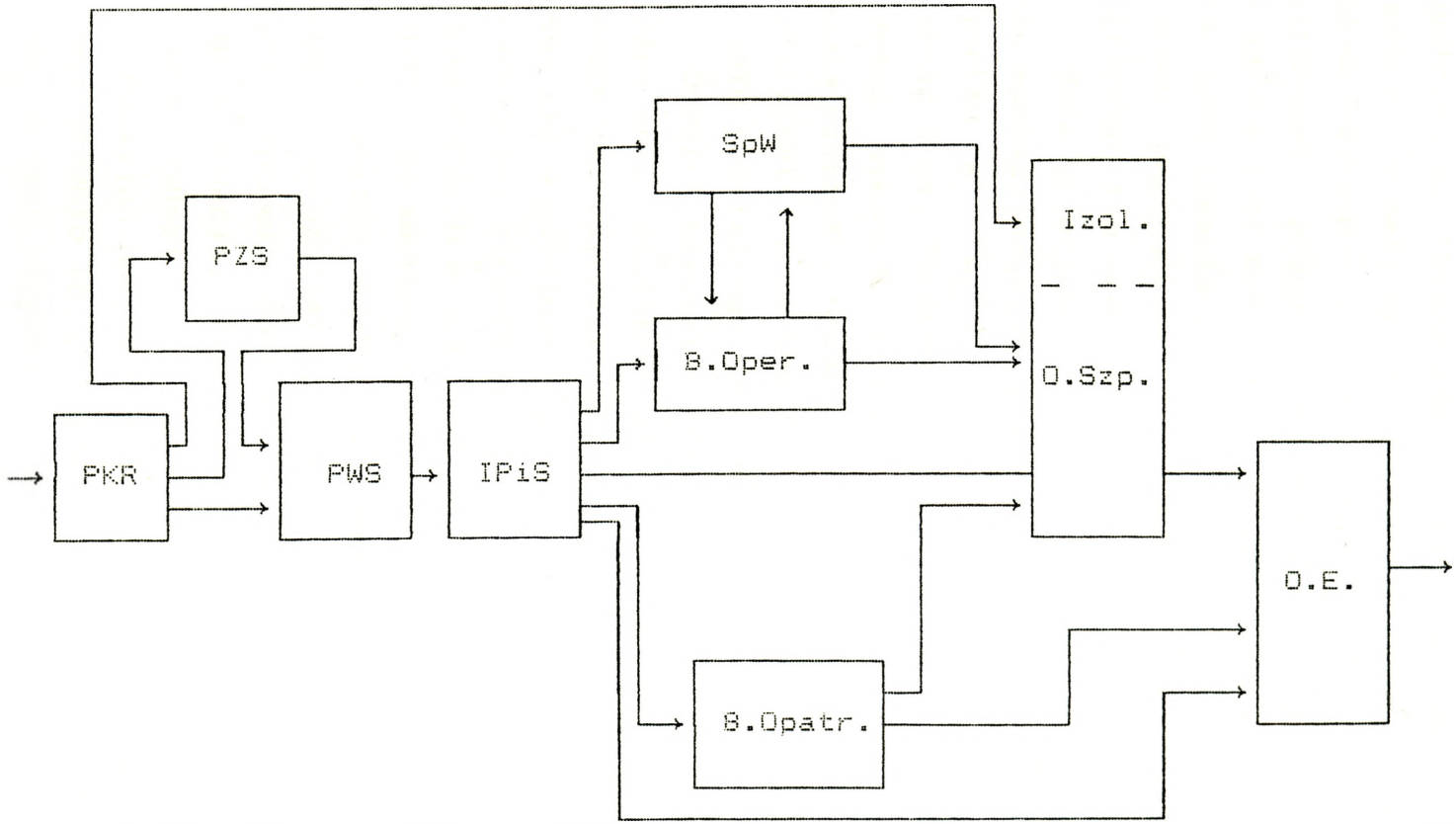
- salę przeciwwstrząsową (SpW),
- oddział szpitalny (O.Szp.).

W punkcie kontrolno-rozdzielczym przeprowadza się wstępną segregację wszystkich rannych i chorych. "Niebezpieczni dla otoczenia" tj. skażeni, zakażeni, chorzy zakaźnie i chorzy z zaburzeniami psychicznymi są kierowani do punktu zabiegów sanitarnych bądź izolatorów. Pozostałych rannych kieruje się na plac wstępnej segregacji. PKR jest obsługiwany przez lekarza i sanitarisza dozymetrystę. Czas obsługi jednego rannego wynosi 1.5 - 2.5 minuty.

Punkt zabiegów sanitarnych jest obsługiwany przez drużynę zabiegów sanitarnych. Wykonuje się tutaj całkowite zabiegi sanitarne. Przyjmuje się, że średni czas zabiegu (uwzględniając stopień ciężkości porażenia oraz porę roku) będzie wynosił 15 - 30 minut. Po wykonaniu zabiegów sanitarnych rannych kieruje się do oddziału segregacyjno-ewakuacyjnego.

Oddział segregacyjno-ewakuacyjny jest obsługiwany przez zespoły segregacyjne przeprowadzające segregację wewnątrzpunktową oraz ewkuacyjno-transportową. Czynności kwalifikowanej segregacji u jednego rannego trwają średnio 5 - 6 minut. Dla sprawnego przeprowadzenia segregacji organizuje się plac wstępnej segregacji. W zależności od ustaleń lekarskich, rannych i chorych kieruje się do bloku operacyjno-opatrunkowego, sali przeciwwstrząsowej, oddziału szpitalnego lub oddziału ewakuacyjnego.

Blok operacyjny składa się z sali przedoperacyjnej i operacyjnej. W sali przedoperacyjnej przygotowuje się rannych (jednocześnie 6-8) do zabiegów operacyjnych. W sali operacyjnej zespoły chirurgiczne wykonują średnie i duże zabiegi operacyjne. Blok operacyjny wyposażony jest w 2 - 4 stoły operacyjne. Jeden zespół pracuje zwykle przy dwóch stołach. Czas trwania zabiegu operacyjnego wynosi średnio 60 - 120 minut. Ranni po operacji są kierowani do oddziału szpitalnego lub do sali przeciwwstrząsowej.



Rys. 2.5. Struktura funkcjonalna rozwiniętego OPM.

Blok opatrunkowy wykonuje lżejsze zabiegi operacyjne i opatrunkowe. Składa się z części przedopatrunkowej i opatrunkowej. W sali przedopatrunkowej przygotowuje się rannych (jednocześnie 8 - 12) do zabiegów opatrunkowych. W sali opatrunkowej pracują chirurgiczne zespoły opatrunkowe. Wyposażona jest ona w 4 - 6 stołów operacyjnych i opatrunkowych. Czas trwania zabiegu opatrunkowego wynosi 45-60 minut. Z bloku opatrunkowego rannych kieruje się do oddziału szpitalnego lub ewakuacyjnego.

Sala przeciwwstrząsowa umiejscowiona jest w pobliżu bloku operacyjnego. Może przyjąć 20 - 30 rannych przybyłych do punktu w stanie wstrząsu lub będących we wstrząsie pooperacyjnym. Oprócz czynności przeciwwstrząsowych personel lekarski wykonuje również czynności reanimacyjne. Czas trwania czynności przeciwwstrząsowych wynosi od 180 do 240 minut. Z sali przeciwwstrząsowej rannych kieruje się do oddziału szpitalnego lub oddziału operacyjno-opatrunkowego.

Oddział szpitalny stanowią sale szpitalne, izolator zakaźny oraz izolator dla rannych i chorych z ostrymi zaburzeniami psychicznymi, o łącznej liczbie 40 - 50 miejsc. W oddziale szpitalnym czasowo hospitalizuje się niezdolnych do ewakuacji, głównie po zabiegach operacyjnych. Czas przebywania rannych w oddziale zależy od uzyskania przez nich zdolności do ewakuacji.

W salach ewakuacji ranni i chorzy oczekują na ewakuację do szpitali polowych lub stacjonarnych. Personel medyczny sprawuje opiekę nad rannymi, a także przygotowuje ich do ewakuacji. Średnio czas przygotowania rannego do ewakuacji wynosi 3 - 5 minut.

Batalion medyczny dywizji rozwija się raz na 2-3 dni, z czego średnio 16 - 24 godzin przypada na efektywną pracę. Pozostały czas zajmują czynności związane z przesunięciem punktu i odtwarzaniem gotowości do pracy.

W DPM z etatowego personelu medycznego tworzone są:

- cztery zespoły segregacyjne,
- trzy chirurgiczne zespoły operacyjne,
- dwa chirurgiczne zespoły opatrunkowe,

- cztery zespoły internistyczne.

W ciągu doby personel medyczny DPM jest w stanie udzielić kwalifikowanej pomocy medycznej 250 - 300 rannym w pełnym zakresie, lub 400 - 500 rannym ze wskazań życiowych.

Pluton ewakuacji batalionu medycznego dysponuje 10 samochodami sanitarnymi. Jego jednorazowe możliwości ewakuacyjne wynoszą do 80 rannych w tym 48 w pozycji leżącej.

3. MODEL SYSTEMU ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO

3.1. Cel budowy modelu

Celem budowy modelu symulacyjnego systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego jest stworzenie dla specjalistów narzędzia pozwalającego na:

- uzyskanie obiektywnych danych stanowiących przesłankę do optymalizacji obowiązujących struktur organizacyjnych i zasad pracy pododdziałów i oddziałów służby zdrowia związku taktycznego (intuicyjnie uznawanych za niedoskonałe);
- uzyskanie możliwości szybkiego bilansowania potrzeb w zakresie udzielania określonego rodzaju pomocy medycznej i ewakuacji z możliwościami świadczenia tych usług przez pododdziały i oddziały służby zdrowia;
- badanie skutków podejmowanych decyzji w praktyce dowodzenia służbą zdrowia związku taktycznego;
- badanie opracowanych wariantów rozwiązań podczas planowania i prowadzenia ćwiczeń przez służbę zdrowia związku taktycznego.

Model może być wykorzystywany przez specjalistów zajmujących się organizacją zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych, zarówno w celach badawczych jak i szkoleniowych. W pracach badawczych może znaleźć zastosowanie w symulacyjnym badaniu:

- struktury organizacyjnej systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego,
- struktur funkcjonalnych punktów medycznych,
- organizacji i funkcjonowania podsystemu ewakuacji.

3.2. Opis ogólny modelu systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego

System zabezpieczenia medycznego jest jednym z elementów zabezpieczenia działań bojowych wojsk. Najważniejszym elementem funkcjonalnym systemu zabezpieczenia medycznego jest podsystem leczniczo-ewakuacyjny. Podsystem zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego rozpatrywany będzie dalej jako system. W następstwie przyjętej (w rozdziale pierwszym rozprawy) definicji systemu, system zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego opisuje para

$$SZLE = \langle \mathbb{E}^*, \mathbb{H}^* \rangle$$

gdzie:

$\mathbb{E}^* = \{ E_y ; y \in \mathbb{Y} \}$ - skończony zbiór elementów systemu,

$\mathbb{H}^* = \{ H_g^{\vee} ; g \in \mathbb{G} \}$ - skończony zbiór relacji określonych na zbiorze $\mathbb{E}^*$,

przy czym:

$\mathbb{Y} = \{ 1,2,...,Y \}$ - zbiór numerów elementów zbioru $\mathbb{E}^*$,

$\mathbb{G} = \{ 1,2,...,G \}$ - zbiór numerów elementów zbioru $\mathbb{H}^*$.

W zbiorze $\mathbb{E}^*$ elementów SZLE wyróżnia się:

$$\mathbb{E}^* = \hat{\mathbb{E}} \cup \check{\mathbb{E}}$$

gdzie:

$\hat{\mathbb{E}}$ - zbiór wszystkich elementów otoczenia SZLE,

$\check{\mathbb{E}}$ - zbiór wszystkich elementów składowych SZLE.

W zbiorze $\check{\mathbb{E}}$ elementów składowych SZLE można wyróżnić następujące składniki funkcjonalne:

$$\check{\mathbb{E}} = \{ S^*, PSI, PSD, PSE, PSL, PSG, E_1, E_2, ..., E_{\check{Y}}, ..., E_{\check{Y}} \}$$

gdzie:

S^* - SZLE rozumiany jako całość funkcjonalna,

PSI - podsystem informacyjny,

PSD - podsystem decyzyjny,

PSE - podsystem ewakuacyjny,

PSL - podsystem leczniczy,

PSG - podsystem gospodarczy,

$\check{E}_y$ - element SZLE o numerze y.

Zbiór $\hat{\mathbb{E}}$, elementów otoczenia SZLE, stanowią obiekty (pododdziały oddziały) prowadzące działania bojowe:

$$\hat{\mathbb{E}} \equiv \Phi = \{ O_1, O_2, \ldots, O_i, \ldots, O_I \}.$$

Zbiór $\mathbb{H}^*$, relacji określony na zbiorze $\mathbb{E}^*$, można zdekomponować następująco:

$$\mathbb{H}^* = \hat{\mathbb{H}} \cup \check{\mathbb{H}}$$

gdzie:

$\hat{\mathbb{H}} \subseteq \hat{\mathbb{E}} \times \hat{\mathbb{E}}$ - zbiór relacji pomiędzy elementami otoczenia SZLE,

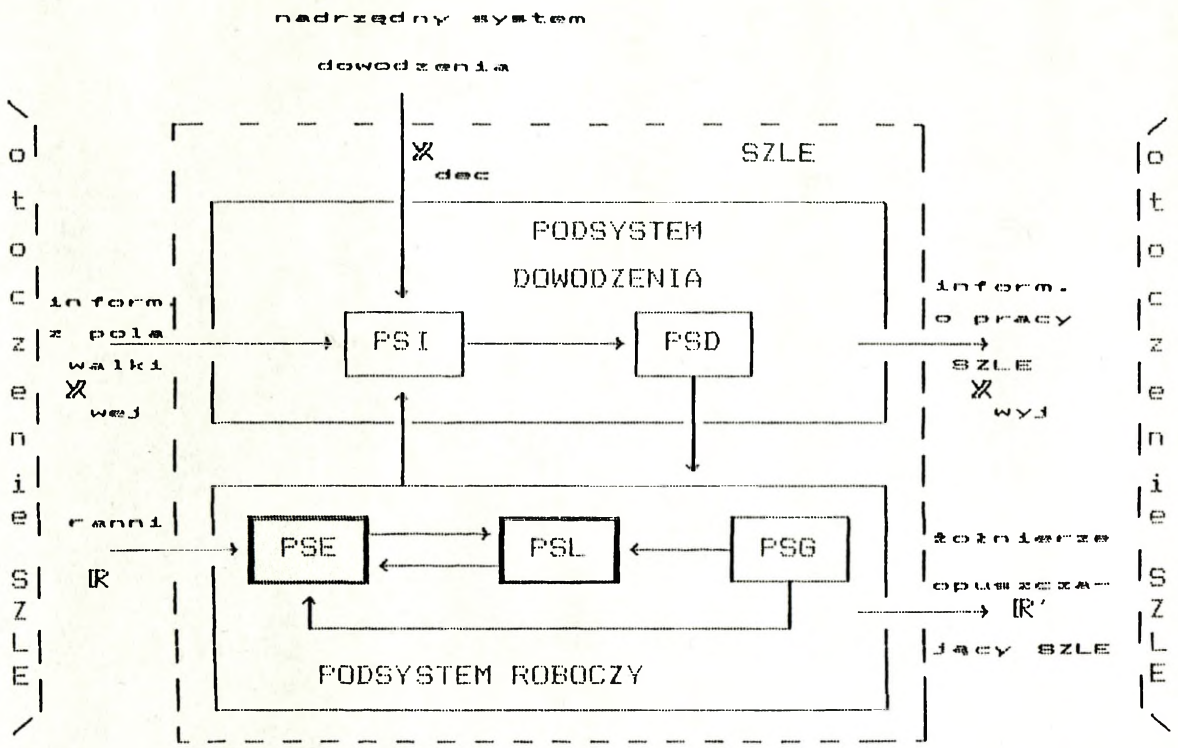
$\check{\mathbb{H}} \subseteq \check{\mathbb{E}} \times \check{\mathbb{E}}$ - zbiór relacji pomiędzy elementami SZLE.

W praktyce przyjmuje się konwencję, w której system wraz z jego otoczeniem tworzą nadsystem. Przy takim ujęciu rozróżnia się stan wewnętrzny systemu, określony przez własności elementów i ich relacji wewnątrz systemu oraz stan zewnętrzny systemu określony przez stan własności otoczenia i relacji pomiędzy systemem a otoczeniem. Zależności zachodzące między nadsystemem a systemem, między systemem a jego podsystemami itd. wyznaczają budowę hierarchiczną systemu.

O sposobie działania samego SZLE decydują własności jego elementów oraz relacje ich wzajemnego oddziaływania integrujące je w system. Z tego względu można mówić o sieci powiązań funkcjonalnych pomiędzy elementami - stanowiącej konfigurację systemu nazywaną także strukturą funkcjonalną.

SZLE rozpatrywany jako system działania tworzą dwa podstawowe, wzajemnie sprzężone podsystemy (rysunek 3.1.): podsystem dowodzenia (sterowania) i podsystem wykonawczy (roboczy). Podsystem dowodzenia tworzą: PSD - podsystem decyzyjny i PSI - podsystem informacyjny. Ponadto: powiązania między nimi, powiązania decyzyjne z nadrzędnym systemem dowodzenia, powiązania decyzyjne z podsystemem wykonawczym oraz powiązania informacyjne z podsystemem wykonawczym

i otoczeniem SZLE. Podsystem roboczy tworzą: PSL - podsystem leczniczy, PSE - podsystem ewakuacyjny, PSG - podsystem gospodarczy oraz relacje między nimi i jego otoczeniem (bliższym i dalszym).



Rys. 3.1. Struktura funkcjonalna SZLE.

Działanie SZLE jest ściśle związane z otoczeniem zewnętrznym, które stanowi pole walki oraz szpitale. Przedmiotem działania systemu będą żołnierze wymagający pomocy medycznej. W dalszych rozważaniach każdy ranny, chory lub w stanie depresji żołnierz, kierowany do SZLE, tradycyjnie będzie określany terminem ranny. Związki taktyczne, oddziały i pododdziały biorące udział w walce, nazywane dalej obiektami są traktowane jako źródła rannych opisanych zbiorem $\mathbb{R}$. Ranni po otrzymaniu pomocy opuszczają SZLE i przekazywani są (zbiór $\mathbb{R}'$) środowisku jako wyleczeni, bądź szpitalom, jeżeli wymagają dalszego leczenia. Środowisko dostarcza również niezbędnych informacji $\mathbb{X}_{wej}$, zapewniających

właściwą organizację i pracę SZLE. Dotyczą one: struktury organizacyjnej obiektów, wykonywanych przez nie zadań, środków rażenia jakimi oddziaływuje przeciwnik, charakterystyki terenu oraz stanu sanitarno-epidemicznego.

Funkcjonowaniem SZLE kieruje się przez wprowadzanie informacji decyzyjnych $\mathcal{X}_{dec}$. Kierowanie ogranicza się tylko do czynności decyzyjnych wpływających na pracę podsystemów: leczniczego oraz ewakuacyjnego . Informacje decyzyjne dotyczą: struktury punktów medycznych, zakresu udzielanej pomocy, sposobu ewakuacji, przebazowania punktów oraz rozdziału zasobów środków transportu. Podejmowanie decyzji wiąże się z analizą zbioru informacji $\mathcal{X}_{wej}$ charakteryzujących środowisko oraz zbioru informacji $\mathcal{X}_{wyj}$ opisujących pracę SZLE. Związek SZLE z otoczeniem przedstawia rysunek 3.1..

Działanie SZLE jest rozpatrywane w określonym przedziale czasu $\mathbb{T}$, związanym z czasem prowadzenia działań bojowych. Przyjmuje się, że będzie on funkcjonował w przedziale czasu $\mathbb{T} = \langle T^p, T^k \rangle$ gdzie: T^p – oznacza operacyjny czas rozpoczęcia działań bojowych, a T^k – czas zakończenia obsługi rannych w SZLE. Upływ czasu oznaczony symbolem t, ($t \in \mathbb{T}$) ma charakter dyskretny o przyroście równym Δt. Przedział czasu $\mathbb{T}$ dzieli się na K równych odcinków czasu o długości ΔT. Oznaczając przez k, k-ty odcinek czasu ΔT ($k \in \mathbb{K}$, $\mathbb{K} = \{ 1,2,...,K \}$), to przekazanie informacji z otoczenia do SZLE następuje w chwilach $t = T^p + (k-1)\cdot\Delta T$. Natomiast przekazanie informacji z systemu do otoczenia ma miejsce w chwilach $t = T^p + k\cdot\Delta T$. Dla uproszczenia zapisu k-ty kwant czasu ΔT oznacza się przez ΔT_k.

Podsystem leczniczy PSL składa się z punktów medycznych stanowiących jego elementy funkcjonalne. Proces udzielania pomocy medycznej rannym i chorym żołnierzom podzielony został na etapy zgodnie z obowiązującą koncepcją leczenia etapowego. Podsystem ewakuacyjny PSE wiąże poszczególne ogniwa podsystemu leczniczego (punkty medyczne) zapewniając ciągłość leczenia rannych w całym systemie. Elementami funkcjonalnymi podsystemu ewakuacyjnego są środki

transportu sanitarnego, będące integralną częścią każdego etapu ewakuacji medycznej. Podsystem gospodarczy PSG realizuje funkcje pomocnicze dla podsystemu leczniczego oraz ewakuacyjnego zapewniając ich właściwą pracę. Podsystem dowodzenia koordynuje działanie poszczególnych elementów funkcjonalnych zgodnie z obowiązującym planem zabezpieczenia medycznego, uwzględniając sytuację taktyczno-medyczną.

3.3. Opis szczegółowy modelu SZLE

3.3.1. Wymagania

Model SZLE powinien umożliwić kompleksowe badanie systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego jako całości oraz jego elementów funkcjonalnych. Takie podejscie wymaga ujęcie i odwzorowanie w modelu:

1. Wpływu otoczenia na funkcjonowanie SZLE. Charakteryzując otoczenie należy uwzględnić te cechy sytuacji taktycznej i medycznej, które mają istotny wpływ na funkcjonowanie SZLE. Należą do nich:
   - struktura organizacyjna wojsk w rozpatrywanym pasie działania,
   - zadania wykonywane przez elementy rozpatrywanej struktury,
   - środki rażenia jakimi oddziaływuje przeciwnik,
   - wyskość i dynamika strat sanitarnych,
   - stan sanitarno-epidemiczny wojsk.

   Strukturę strat sanitarnych należy prognozować na podstawie wielkości strat ogólnych w stanie osobowym pododdziałów i oddziałów prowadzących działania bojowe. Znajomość wysokości i dynamiki strat sanitarnych stanowić będzie podstawę przy podejmowaniu decyzji przez organa dowodzenia służbą zdrowia w trakcie działań bojowych. Dotychczasowe metody prognozowania nie uwzględniają prognoz sporządzanych na niższych szczeblach dowodzenia.

Model powinien dawać możliwość uzyskania spójnej prognozy strat sanitarnych dla związku taktycznego.

2. Struktury funkcjonalnej punktów medycznych (z dowolną szczegółowością). Tempo przepływu rannych w modelu SZLE powinno zależeć od:
   - struktury funkcjonalnej punktów medycznych,
   - struktury strat sanitarnych,
   - zakresu udzielanej pomocy oraz możliwości udzielania pomocy w punkcie medycznym.

   Możliwości punktu medycznego w udzielaniu pomocy należy uzależnić od liczby zespołów lekarskich udzielających pomocy oraz od wyposażenia medycznego punktu.

   Istotnym czynnikiem wpływającym na tempo przepływu rannych w modelu SZLE jest umiejscowienie strat sanitarnych w rejonie działania rozwiniętych punktów medycznych. Porównywanie bowiem ogólnej liczby strat sanitarnych z możliwościami udzielania pomocy przez wszystkie punkty medyczne może dawać zafałszowany obraz rzeczywistości (ponieważ w ogólnym bilansie możliwości i potrzeb uwzględnia się punkty medyczne położone daleko od rejonów powstawania strat, a także punkty medyczne wprowadzane w następnych okresach walki).
3. Sposobów organizacji ewakuacji. W procesie ewakuacji rannych i chorych należy uwzględnić możliwości ewakuacyjne transportu sanitarnego (organicznego i przydzielonego), transportu ogólnowojskowego, a także rzeczywiste odległości między etapami ewakuacji medycznej.

Uzyskane z modelu informacje, charakteryzujące pracę SZLE, powinny pozwolić na ocenę efektywności modelowanej struktury organizacyjno-funkcjonalnej SZLE, a także być pomocne przy podejmowaniu decyzji dotyczących:
- manewru etapami ewakuacji medycznej,
- wzmocnienia poszczególnych etapów siłami i środkami medycznymi z odwodu medycznego,
- manewru zakresem pomocy.

3.3.2. Założenia i ograniczenia

Przyjęte w modelu założenia i ograniczenia podzielone zostały na ogólne i szczegółowe. Ogólne dotyczą całego modelu, a szczegółowe jego otoczenia i podsystemów.

Ogólne:

1. W strukturze funkcjonalnej SZLE uwzględnia się dwa najważniejsze podsystemy mające decydujący wpływ na ocenę pracy całego systemu. Są to: podsystem leczniczy PSL oraz podsystem ewakuacyjny PSE.
2. Zakłada się sprawne funkcjonowanie podsystemu gospodarczego PSG.
3. Funkcjonowanie podsystemu dowodzenia ogranicza się do działalności decyzyjnej, dotyczącej organizacji oraz funkcjonowania SZLE zgodnie z planem zabezpieczenia medycznego (z uwzględnieniem bieżącej sytuacji taktyczno-medycznej).
4. Nie uwzględnia się wpływu zakłóceń (oddziaływania przeciwnika, niekorzystnych warunków klimatycznych, zmęczenia personelu itp.) na funkcjonowanie SZLE.

Dotyczące otoczenia:

1. Ugrupowanie bojowe związku taktycznego rozpatruje się w aspekcie struktury organizacyjnej jednostek, które je tworzą.
2. Podstawą do definiowania modelu struktury organizacyjnej wojsk w rozpatrywanym pasie działania[1] są etatowe struktury organizacyjne związków taktycznych (np. DZ, DZ/90/).
3. W pasie działania związku taktycznego uwzględnia się oddziały i pododdziały wsparcia i wzmocnienia ze szczebla nadrzędnego, których służba zdrowia będzie

---

[1] Pasy działania są pojęciem umownym. Odpowiadają one odcinkom (kierunkom) działania wojsk.

podporządkowana służbie zdrowia związku taktycznego.

4. W strukturze organizacyjnej rozpatruje się tylko te jednostki, które posiadają organiczne pododdziały służby zdrowia, rozwijające własnymi siłami punkty medyczne.
5. Rodzaje walki, jakie może realizować związek taktyczny ogranicza się tylko do takich, które mają wpływ na organizację zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego.
6. Teren, na którym prowadzone są działania bojowe rozpatruje się tylko w aspekcie jego wpływu na pracę transportu sanitarnego.
7. Podstawę do szacowania wielkości strat sanitarnych stanowią straty ogólne w stanie osobowym danej jednostki w przyjętym przedziale czasu ΔT.
8. Straty ogólne są traktowane jako natychmiastowy skutek działania środków rażenia przeciwnika w przedziale czasu ΔT. Straty ogólne w stanie osobowym S^o dzieli się na dwie rozłączne grupy: straty bezpowrotne S^b oraz straty sanitarne S^s

$$S^o = S^b + S^s.$$

Podział strat ogólnych na bezpowrotne i sanitarne przeprowadza się wykorzystując stosowany w wojskowej statystyce medycznej wskaźnik liczbowy $K_{b/s}$, będący stosunkiem wielkości strat bezpowrotnych do wielkości strat sanitarnych. Wskaźnik ten posłuży do określenia estymatorów prawdopodobieństw zranienia bądź zabicia żołnierza.

Estymator P^{ss} prawdopodobieństwa zranienia żołnierza określony jest następująco

$$P^{ss} = \frac{1}{1 + K_{b/s}}.$$

Estymator P^{sb} prawdopodobieństwa zabicia żołnierza określony jest następująco

$$P^{sb} = \frac{K_{b/s}}{1 + K_{b/s}}.$$

W statystyce medycznej struktura strat sanitarnych, według zadanego kryterium podziału, określona jest przedziałami wartości liczbowych wyrażonych w procentach.

Dysponując informacją statystyczną o strukturze strat sanitarnych dla wszystkich przyjętych kryteriów podziału(tj. czynnika urazogennego, obszaru anatomicznego zranienia, stopienia ciężkości zranienia oraz jego profilu), istnieje możliwość wygenerowania opisu zranienia. Strukturyzację strat sanitarnych przeprowadza się następująco:

a. Niech $\mathbb{U} = \{ 1,2,\ldots,U \}$ będzie zbiorem numerów przyjętych kryterów podziału strat sanitarnych.

b. Niech straty sanitarne (dla u-tego kryterium podziału) zostaną podzielone na $\ddot{Z}_u$ jednorodnych grup o numerach

$$\ddot{\mathbb{Z}}_u = \{ 1,2,\ldots,\ddot{Z}_u \} .$$

c. Dla u-tego kryterium podziału procentowy udział z-tej grupy (gdzie $z \in \ddot{\mathbb{Z}}_u$) w stratach sanitarnych określa przedział wartości

$$\left[p_z^{\%min} , p_z^{\%max} \right] .$$

d. Przyjmuje się, że

$$\bigwedge_{u \in \mathbb{U}} \sum_{z \in \ddot{\mathbb{Z}}_u} \frac{p_z^{\%min} + p_z^{\%max}}{2} = 100\% .$$

e. Posługiwanie się wielkościami probabilistycznymi (przy generowaniu opisu zranienia), w celu wylosowania zdarzenia (wystąpienia określonej grupy strat) wymaga znormalizowania wskaźników procentowych do wartości z przedziału [0,1]. A zatem:

$$p_z^{min} = \frac{p_z^{\%max}}{100} , \quad p_z^{max} = \frac{p_z^{\%max}}{100} .$$

Wskaźniki P_z^{min}, P_z^{max} uważa się za estymatory prawdopodobieństw wystąpienia zdarzenia o numerze $z \in \ddot{Z}_u$.

Przekształcenie procentowych wskaźników (określających strukturę strat sanitarnych), na wielkości probabilistyczne przeprowadza się przy założeniu, że dla danego kryterium podziału, straty sanitarne traktowane jako całość, zostały podzielone na skończoną liczbę jednorodnych grup wzajemnie się wyłączających. W celu spełnienia wymogu, że dla danego kryterium podziału strat sanitarnych, grupy strat będą rozłączne, zakłada się, że:

- zranienie (zachorowanie) wywołuje tylko jeden czynnik urazogenny; jeżeli przyczyną zranienia jest więcej niż jeden z czynników urazogennych, to za dominujący przyjmuje się ten, który wywołał uraz najgroźniejszy w skutkach,
- jeżeli jednocześnie został "uszkodzony" więcej niż jeden obszar anatomiczny ciała, to za wiodący uważa się ten, którego obrażenia najbardziej zagrażają życiu.

f. Przyjmuje się, że zajście z-tego zdarzenia (wylosowania z-tej grupy, gdzie $z \in \ddot{Z}_u$, zachodzi z prawdopodobieństwem P_z równym liczbie wylosowanej według rozkładu równomiernego z przedziału $[P_z^{min}, P_z^{max}]$.

g. Wyniki losowania wartości P_z uważa się za poprawne jeżeli spełniony jest poniższy warunek:

$$\bigwedge_{u \in \mathbb{U}} \quad 1 - \varepsilon \leq \sum_{z \in \ddot{Z}_u} P_z \leq 1 ,$$

gdzie ε - wyznacza dokładność wyboru ($\varepsilon = 0.005$).

h. Spełnienie warunku

$$\bigwedge_{u \in \mathbb{U}} \quad \sum_{z \in \ddot{Z}_u} P_z = 1 ,$$

uzyskuje się wykorzystując poniższą formułę zdaniową:

$$\left[\bigvee_{z' \in \ddot{Z}_u} : \quad P_{z'} = \max \{ P_z \; : \; z \in \ddot{Z}_u \} \right] \longrightarrow$$

$$\longrightarrow \left[P_{z'} = 1 - \sum_{z \in \ddot{Z}_u \setminus z'} P_z \right] .$$

i. Niech dla u-tego kryterium podziału Z_u oznacza dyskretną zmienną losową, określającą numer wylosowanej grupy. Dystrybuanta zmiennej losowej Z_u określona jest następująco

$$F_{Z_u}(z) = \sum_{z' \leq z} P_{z'} \quad ; \quad z', z \in \ddot{Z}_u .$$

j. Wykorzystując własności dystrybuanty, procedurę losowania numeru grupy (będącego zdarzeniem losowym), przy u-tym kryterium podziału, określa następująca formuła zdaniowa:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{\oplus 1}} \bigvee_{z \in \ddot{Z}_u} : F_{Z_u}(z-1) \leq l^{rnd} < F_{Z_u}(z) \quad ,$$

gdzie:

$\mathcal{R}_{\oplus 1}$ - zbiór liczb rzeczywistych z przedziału [0,1],

l^{rnd} - liczba wylosowana według rozkładu równomiernego ze zbioru $\mathcal{R}_{\oplus 1}$.

Dotyczące podsystemu leczniczego PSL:

1. Struktura organizacyjna punktów medycznych jest strukturą hierarchiczną. Obowiązuje "system leczenia etapowego z ewakuacją na kierunku".
2. Zakres pomocy medycznej ustala się dla punktu medycznego

na czas pracy w rejonie rozwinięcia.

3. W strukturze funkcjonalnej punktu medycznego uwzględnia się tylko te elementy funkcjonalne, w których wykonywane są zabiegi sanitarne lub lecznicze.
4. Przyjmuje się stałą strukturę funkcjonalną punktu medycznego podczas pracy w rejonie rozwinięcia.
5. Elementy funkcjonalne punktu medycznego mogą zostać wzmocnione personelem i sprzętem medycznym z odwodu medycznego (szefa służby zdrowia).
6. W strukturze funkcjonalnej modelu punktu medycznego występuje tylko jeden element przyjmujący rannych do punktu. Jest nim zawsze posterunek kontrolno-rozdzielczy (PKR).
7. Elementami "końcowymi" punktu medycznego są:
   - miejsce (oddział, sala) przygotowania i oczekiwania rannych na ewakuację,
   - pododdział ozdrowieńców,
   - miejsce opieki humanitarnej.
8. Izolatory stanowią integralną część oddziału szpitalnego bądź miejsca przygotowania do ewakuacji.
9. Dla ujednolicenia opisu struktury funkcjonalnej punktu medycznego wprowadza się elementy "pozorne". Elementami pozornymi są te elementy funkcjonalne, dla których przyjęto zerowy czas (zajętości stanowisk obsługi) wykonywania czynności leczniczych lub sanitarnych. Elementami pozornymi są: pododdział ozdrowieńców, miejsce opieki humanitarnej oraz PKR i miejsce zbiórki rannych w punkcie medycznym organizowanym przez drużynę sanitarną podczas natarcia wojsk.
10. Każdy element punktu medycznego składa się ze stanowisk obsługi. Liczba stanowisk obsługi zdeterminowana jest przez dwa czynniki: ludzki oraz sprzętowy. Jeżeli wydajność elementu ogranicza liczba personelu medycznego, to o liczbie stanowisk obsługi decyduje liczba zespołów lekarskich (lekarzy lub sanitariuszy). Jeżeli wydajność elementu ogranicza sprzęt medyczny (np. liczba stołów operacyjnych, łóżek bądź stanowisk do przeprowadzania

zabiegów sanitarnych), to liczbę stanowisk obsługi wyznacza ilość sprzętu medycznego.

11. Nie uwzględnia się wpływu czasu otrzymania przez rannego określonego rodzaju pomocy w punktach medycznych, na liczbę wyleczonych oraz zmarłych od ran.
12. Czas pobytu rannego w punkcie medycznym liczony jest od chwili przybycia rannego do elementu PKR, do chwili wyewakuowania rannego z punktu medycznego.
13. Czas otrzymania przez rannego pomocy medycznej w elemencie punktu medycznego określany jest w chwili zakończenia czynności leczniczych.
14. Manewr punktem medycznym przeprowadza się tylko w formie "skoku" lub "przeskoku".
15. Punkt medyczny, do nowego rejonu rozwinięcia, przebazowywany jest w całości.

Dotyczące podsystemu ewakuacji PSE:

1. Sposób ewakuacji rannych jest jednolity na wszystkich etapch ewakuacji.
2. Podsystem ewakuacji funkcjonuje według zasady "ewakuacji na kierunku".
3. W systemie leczenia z "ewakuacją na kierunku" rannych przewozi się bez pomijania poszczególnych etapów ewakuacji.
4. W bilansie środków ewakuacji można uwzględniać tylko środki transportu sanitarnego jak również transport ogólnego przeznaczenia.
5. Przy wyborze rannych do ewakuacji uwzględnia się wymagania wynikające z segregacji ewakuacyjnej oraz priorytet obsługi rannych i czas oczekiwania na ewakuację.
6. Nie uwzględnia się oddziaływania przeciwnika na pracę podsystemu ewakuacji.
7. Nie uwzględnia się czasu wnoszenia (wynoszenia) rannych do środka transportu.

8. Przy wykorzystaniu do ewakuacji transportu ogólnego przeznaczenia nie uwzględnia się jego strat eksploatacyjnych.

3.3.3. Model otoczenia SZLE

3.3.3.1. Struktura organizacyjna obiektów

Obiekty prowadzące walkę, w określonym pasie działania, przyjmują odpowiednie ugrupowanie bojowe. W ugrupowaniu bojowym uwzględnia się tylko te obiekty, dla których rozwijane będą punkty medyczne. Struktura organizacyjna SZLE jest strukturą hierarchiczną, zdeterminowaną przez strukturę organizacyjną obiektów. Model struktury organizacyjnej obiektów MSO opisuje dwójka:

$$MSO = \langle \Phi, \Gamma_o \rangle$$

gdzie:

$\Phi = \{ O_i : i \in I \}$ - zbiór obiektów,

$I = \{ 0,1,..,i,..I \}$ - zbiór numerów obiektów,

$\Gamma_o \subseteq \Phi \times \Phi$ - relacja podporządkowania organizacyjnego obiektów; relacja Γ_o określa dla każdego obiektu zbiór obiektów podległych [36] i określona jest następująco:

$\Gamma_o = \{ (O_{i'}, O_{i''}) \in \Phi \times \Phi : O_{i''}$ jest obiektem organizacyjnie podporządkowanym obiektowi $O_{i'} ; i',i'' \in I \}$.

Relacja $\Gamma_o(O_i)$ wyznacza zbiór "następników" obiektu O_i, natomiast $\Gamma_o^{-1}(O_i)$ określa "poprzednik" obiektu O_i [2]. Relacja podporządkowania Γ_o określa na zbiorze obiektów Φ strukturę hierarchiczną, spełniającą następujące warunki:

1. W zbiorze Φ istnieje jeden i tylko jeden obiekt Φ_o nie posiadający obiektu nadrzędnego:

$$\overline{\Gamma_o^{-1}(O_o)} = \emptyset ;$$

2. Każdy obiekt $O_i \in \Phi$ posiada co najwyżej jeden obiekt nadrzędny:

$$\overline{\overline{\Gamma_{\sigma}^{-1}(O_i)}} \leq 1 .$$

W opisywanej strukturze wyróżnia się zbiór Φ^P – obiektów bojowych (prostych) oraz zbiór Φ^Z – obiektów złożonych, rozumianych jako organizacyjne.

$$\Phi^P = \left\{ O_i \in \Phi: \overline{\overline{\Gamma_{\sigma}(O_i)}} = \emptyset \right\} ,$$

$$\Phi^Z = \left\{ O_i \in \Phi: \overline{\overline{\Gamma_{\sigma}(O_i)}} \neq \emptyset \right\} .$$

Dla skrócenia i uproszczenia notacji przy opisie obiektu[2] nie zaznacza się jego numeru (indeks "i"); ponadto zależność wartości atrybutu obiektu od czasu (jeżeli taka występuje) zaznacza się tylko przy określaniu jego aktualnej wartości w chwili t, lub w przedziale czasu ΔT (np. o(t) lub o(ΔT)), pomijając opis formalnego sposobu odwzorowania tej zależności. Każdy obiekt $O \in \Phi$ charakteryzuje trójka:

$$O = < SM, SB, o^{mtmn} > .$$

Elementy tej "trójki" interpretowane są następująco:

SM – charakterystyka sytuacji medycznej obiektu.

Sytuację medyczną opisuje siódemka:

$$SM = < o^{kpm}, o^{nrp}, o^{tpmin}, o^{tpmax}, o^{nsep}, o^{mb}, o^{mm} >$$

gdzie:

o^{kpm} – numer klasy punktu medycznego rozwijanego przez jednostkę służby zdrowia obiektu,

---

[2] Podobnie postępuje się przy opisie punktu medycznego (jego elementów, stanowisk obsługi) oraz opisie środka transportu.

o^{nrp} - numer punktu medycznego obsługującego obiekt,

o^{tpmin}, o^{tpmax} - normatywny przedział czasu, po upływie którego ranny z pola walki przybędzie do punktu medycznego o numerze o^{nrp},

o^{nmep} - numer klasy stanu sanitarno-epidemicznego obiektu (w przedziale czasu $\Delta T \in \mathbb{T}$),

o^{sb} - straty bezpowrotne w stanie osobowym obiektu (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

o^{ss} - straty sanitarne w stanie osobowym obiektu (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

SB - charakterystyka "sytuacji taktycznej" obiektu.

Sytuację taktyczną można opisać za pomocą następującej dziewiątki:

$$SB = < o^{tp}, o^{nrw}, o^{nter}, o^{gmr}, o^{el}, o^{plm}, o^{rub}, o^{sso}, o^{sl} >$$

gdzie:

o^{tp} - czas rozpoczęcia przez obiekt działań bojowych,

o^{nrw} - numer formy walki jaką prowadzi obiekt (w przedziale czasu $\Delta T \in \mathbb{T}$),

o^{nter} - numer klasy terenu na jakim obiekt prowadzi działania (w przedziale czasu $\Delta T \in \mathbb{T}$),

o^{gmr} - rodzaje środków rażenia jakimi przeciwnik oddziaływuje na obiekt (w przedziale czasu $\Delta T \in \mathbb{T}$),

o^{el} - etatowa liczba ludzi obiektu;

o^{plm} - przesunięcie linii styczności obiektu z przeciwnikiem w przedziale czasu $\Delta T \in \mathbb{T}$,

o^{rub} - przesunięcie linii styczności obiektu z przeciwnikiem do chwili $t \in \mathbb{T}$,

o^{sso} - straty w stanie osobowym obiektu (w przedziale czasu $\Delta T \in \mathbb{T}$);

o^{sl} - stan osobowy obiektu (w chwili $t \in \mathbb{T}$),

o^{stan} - wskaźnik stanu obiektu (w chwili $t \in \mathbb{T}$).

Przyjmuje się, że w chwili czasu $t = T^p$ wszystkie obiekty zdefiniowane w strukturze MSO są gotowe do rozpoczęcia działań bojowych. Czas rozpoczęcia przez obiekt działań bojowych (o^{tp}) spełnia warunek $o^{tp} \geq T^p$ oraz oznacza gotowość do pracy punktu medycznego. Punkty medyczne obsługujące obiekty dzieli się, ze względu na rodzaj udzielanej przez nie pomocy, na jednorodne klasy. Niech zbiór $\mathbb{L}_p = \{1,2,\ldots,L_p\}$ będzie zbiorem numerów klas punktów medycznych. Wartość atrybutu o^{kpm} obiektu, określa numer klasy punktu medycznego, jaki może obiekt obsługiwać

$$\bigwedge_{O_i \in \Phi} \quad o_i^{kpm} \in \mathbb{L}_p \ .$$

Przyjmuje się, że każdy obiekt $O_{i'}$, podporządkowany obiektowi O_i, rozpoczyna działania bojowe nie wcześniej niż obiekt nadrzędny O_i, a zatem:

$$\bigwedge_{i' \in \Gamma_{\omega}(i)} \quad o_{i'}^{tp} \geq o_i^{tp} \quad ; \quad \text{gdzie: } o_{i'}^{tp},\ o_i^{tp} \in \mathbb{T} \ .$$

Ponadto każdy obiekt $O_{i'}$ rozwija punkt medyczny (udzielający "mniejszej" pomocy medycznej w stosunku do punktu medycznego rozwijanego przez obiekt O_i) o numerze klasy

$$o_{i'}^{kpm} \geq o_i^{kpm} + 1 \ .$$

Oznacza to, że jeżeli obiekt O_i rozwija punkt medyczny klasy DPM to obiekt $O_{i'}$ może rozwijać punkt medyczny klasy PPM lub bpm.

Czas walki obiektu $O_i \in \Phi$ dzieli się na K_i przedziałów czasowych o długościach ΔT, k_i-ty przedział czasu oznacza się przez ΔT_{k_i}, gdzie $k_i \in [1,2,\ldots,K_i]$.

Przyjmuje się, że z chwilą wejścia do walki obiektu $O_i \in \Phi$ sytuację bojową uważa się za niezmienną w przedziale

czasu ΔT_k . Zatem obiekt realizuje określone zadanie bojowe, w tych samych warunkach terenowych i sanitarno-epidemicznych. Jeżeli rozpatrywany obiekt jest obiektem bojowym (prostym) $O_i \in \Phi^P$, określa się warunki sanitarno-epidemiczne, w jakich działa oraz rodzaje (broni) środków rażenia, jakimi na obiekt będzie oddziaływał przeciwnik. Charakterystykę zadania bojowego ogranicza się do określenia rodzaju walki realizowanej przez obiekt O_i. Od rodzaju walki zależy normatywna odległość (od przedniego skraju) rozwinięcia przez obiekt O_i punktu medycznego.

Teren w jakim obiekty mogą prowadzić działania, podzielony został na jednorodne klasy, według kryterium przejezdności dla transportu sanitarnego. Oznaczając przez:

$\mathbb{L}_w$ - zbiór numerów rodzajów walki

$$\mathbb{L}_w = \{ 1,2,..,L_w \},$$

$\mathbb{L}_z$ - zbiór numerów klas terenu

$$\mathbb{L}_z = \{ 1,2,...,L_z \},$$

to w przedziale czasu ΔT_{k_i}, obiekt $O_i \in \Phi$ prowadzi działania na terenie o ustalonym numerze klasy $o_i^{ter} \in \mathbb{L}_z$ i może realizować rodzaj walki $o_i^{rw} \in \mathbb{L}_w$.

Każda l_z-ta klasa terenu ($l_z \in \mathbb{L}_z$) opisana jest za pomocą pary:

$$< kt_{l_z}^{min} , kt_{l_z}^{max} > \in \mathcal{R}_{\oplus 1} \times \mathcal{R}_{\oplus 1}$$

gdzie:

$kt_{l_z}^{min}$ - dolna wartość współczynnika klasy terenu o numerze $l_z \in \mathbb{L}_z$,

$kt_{l_z}^{max}$ - górna wartość współczynnika klasy terenu o numerze $l_z \in \mathbb{L}_z$.

Zbiór możliwych klas terenu zdefiniowany jest następująco:

$$\mathbb{KT} = \left\{ <kt_{l_z}^{min} , kt_{l_z}^{max}> \in \mathcal{R}_{\oplus 1} \times \mathcal{R}_{\oplus 1} : l_z \in \mathbb{L}_z \right\}.$$

Bieżące stany osobowe (w chwili $t \in \mathbb{T}$) dla poszcze-

gólnych obiektów wyznacza się następująco:

$$\bigwedge_{i:O_i \in \Phi^P} \quad 0 \le o_i^{ml}(t) \le o_i^{ml} \ ,$$

$$\bigwedge_{i:O_i \in \Phi^N} \quad o_i^{ml}(t) = \sum_{i' \in \Gamma_o(i)} o_{i'}^{ml}(t) \ .$$

Przyjmuje się, że dla obiektów prostych ($O \in \Phi^P$), w chwili rozpoczęcia przez nie działań bojowych, po uwzględnieniu wskaźnika ukompletowania, ich stan osobowy nie będzie większy od etatowego stanu osobowego. Dla dowolnego obiektu organizacyjnego $O_i \in \Phi^N$ jego stan osobowy jest sumą stanów osobowych wszystkich obiektów bezpośrednio mu podległych.

Środki rażenia, jakimi przeciwnik będzie oddziaływał na stan osobowy obiektów bojowych, dzieli się na grupy według rodzajów broni. W przedziale czasu ΔT_{k_i} na obiekt może oddziaływać grupa środków rażenia przeciwnika określona następująco:

$$\bigwedge_{i:O_i \in \Phi^P} \quad o_i^{sr}(\Delta T_{k_i}) \subseteq \mathbb{L}_r \ ,$$

gdzie $\mathbb{L}_r$ (1,2,...,L_r) oznacza zbiór numerów grup środków rażenia (rodzajów broni). Oddziaływanie środków rażenia przeciwnika powoduje straty w stanach osobowych obiektów.

Do strat stanu osobowego zalicza się również zachorowania. Liczba chorych zależy w znacznym stopniu od warunków sanitarno-epidemicznych w jakich przebywają żołnierze. Stan sanitarno-epidemiczny obiektu (i rejonu jego rozmieszczenia) określa się następująco:

$$\bigwedge_{i:O_i \in \Phi^P} \quad o_i^{sep}(\Delta T_{k_i}) \in \mathbb{L}_e \ ,$$

gdzie $\mathbb{L}_e$ oznacza zbiór numerów stanów sanitarno-epide-

micznych $\mathbb{L}_{\infty} = \{ 1,2,..,L_{\infty} \}$.

Skutki prowadzenia przez obiekt $O_i \in \Phi^P$ działań bojowych, w przedziale czasu ΔT_{k_i}, charakteryzują: straty stanu osobowego - o_i^{mso} oraz przesunięcie obiektu - o_i^{plm}. Wielkość strat stanu osobowego oraz przesunięcia obiektu, w rozpatrywanym przedziale czasu, są ograniczone warunkami:

$$\bigwedge_{i:O_i \in \Phi^P} \quad 0 \le o_i^{mso}(\Delta T_{k_i}) \le o_i^{ml}(t) \,|\, t = (k_i - 1)\Delta T \ ,$$

$$\bigwedge_{i:O_i \in \Phi^P} \quad o_i^{plm}(\Delta T_{k_i}) \in [0,\ d^{max}] \ ,$$

gdzie d^{max} oznacza maksymalną odległość, jaką może przebyć obiekt w przedziale czasu ΔT.

Stan osobowy obiektu zmniejsza się o wielkość strat, jakie poniósł w k_i-tym przedziale czasu ΔT. W chwili $t = o_i^{tp} + k_i \cdot \Delta T$ stan osobowy każdego obiektu wynosi:

$$o_i^{ml}(t) = o_i^{ml}(t - \Delta T_{k_i}) - o_i^{mso}(\Delta T_{k_i}) \quad ; \quad i \in \mathbb{I} \ .$$

Jeżeli obiekt O_i jest obiektem bojowym ($O_i \in \Phi^P$), to przesunięcie linii styczności obiektu (z przeciwnikiem) w chwili $t = o_i^{tp} + k_i \cdot \Delta T$ będzie:

$$\bigwedge_{i:O_i \in \Phi^P} \quad o_i^{rub}(t) = o_i^{rub}(t - \Delta T_{k_i}) + o_i^{plm}(\Delta T_{k_i}) \ .$$

Niech i^* będzie numerem obiektu nadrzędnego względem rozpatrywanego obiektu O_i, zatem

$$i^* = \Gamma_o^{-1}(i) \ .$$

W chwili $t = o_i^{tp} + k_i \Delta T$, średnie przesunięcie linii styczności obiektu O_{i^*} (z przeciwnikiem), będzie średnią arytmetyczną przesunięcia obiektów bezpośrednio podporządkowanych obiektowi O_{i^*}

$$o_{i^*}^{rub}(t) = \frac{1}{\Gamma_o(i^*)} \sum_{i' \in \Gamma_o(i^*)} o_{i'}^{rub}(t) \quad .$$

Dla każdego obiektu, wartości atrybutów: o^{nsep}, o^{tp}, o^{nrw}, o^{nter}, o^{gmr}, o^{pln}, o^{mso} określa się arbitralnie (na podstawie dokumentów bojowych).

Każdy rozpatrywany obiekt $O_i \in \Phi$ w dowolnej chwili $t \in \mathbb{T}$ znajduje się w określonym stanie. Wskaźnik stanu obiektu może przyjmować wartości ze zbioru $\{ 1,2,3 \}$. Interpretacja elementów zbioru jest następująca:

$$o_i^{stan}(t) = \begin{cases} 1 - \text{obiekt i-ty w chwili } t < o_i^{tp} \text{ jest gotowy się do rozpoczęcia działań bojowych,} \\ 2 - \text{obiekt i-ty w chwili } t \geq o_i^{tp} \text{ prowadzi działania bojowe,} \\ 3 - \text{obiekt i-ty w chwili } t \in \mathbb{T} \text{ zostaje wyłączony z walki.} \end{cases}$$

Obiekt $O_i \in \Phi$ w chwili $t \in \mathbb{T}$ zostaje wyłączony z walki jeżeli:

- przekroczony został czas prowadzenia działań bojowych,
- taką decyzję podjął decydent,
- utracił zdolność do walki (został zajęty przez przeciwnika).

3.3.3.2. Generowanie strumienia rannych

Na obiekt bojowy $O_i \in \Phi^p$, prowadzący działania bojowe w k_i-tym przedziale czasu ΔT_{k_i}, przeciwnik oddziaływuje określonymi środkami rażenia ($o_i^{sr} \subseteq \mathbb{L}_r$). Na skutek niszczącego oddziaływania środków rażenia przeciwnika obiekt O_i poniesie straty w stanie osobowym. W rozpatrywanym przedziale czasu wielkość strat ogólnych nie może być większa od stanu osobowego obiektu, a zatem spełniony musi być warunek

$$0 \leq O_i^{str}(\Delta T_{k_i}) \leq o_i^{st}(t)\Big|_{t = (k_i - 1)\Delta T} .$$

Podział ogólnych strat osobowych na straty bezpowrotne i straty sanitarne przeprowadza się na podstawie współczynnika liczbowego $K_{b/s}$, będącego stosunkiem wielkości strat bezpowrotnych do strat sanitarnych. Wartość współczynnika $K_{b/s}$ zależy od rodzajów środków rażenia oraz od pory roku, w jakiej prowadzone są działania bojowe. Przyjmuje się, że w okresie późnojesiennym, zimowym i wczesnowiosennym (16.11-15.03) może wzrosnąć liczba zmarłych od ran, gdyż trudno będzie ewakuować ich z pola walki. Pozostałą część roku (16.03-15.11) uważa się za korzystną dla prowadzwnia zbiórki i ewakuacji rannych.

Dla wszystkich możliwych wariantów użycia przez przeciwnika różnych rodzajów środków rażenia, z uwzględnieniem korzystnej i niekorzystnej pory roku, określone są zbiory współczynników $K_{b/s}$:

$$KBS_{GSR}^{np} = \left\{ K_{b/s} \in \mathcal{R}_+ : K_{b/s} \geq KN_{GSR}^{min} \text{ i } K_{b/s} \leq KN_{GSR}^{max} \right\} ,$$

$$KB\$^{kp}_{GSR} = \left\{ K_{b/m} \in \mathcal{R}_{+} : K_{b/m} \geq KK^{min}_{GSR} \text{ i } K_{b/m} \leq KK^{max}_{GSR} \right\}_{\uparrow} ,$$

gdzie:

GSR – zbiór środków rażenia, jakimi może oddziaływać przeciwnik; $GSR \subseteq \mathbb{L}_r$,

KN^{min}_{GSR} – dolna wartość współczynnika $K_{b/m}$ dla danego GSR, gdy działania są prowadzone w niekorzystnej porze roku,

KN^{max}_{GSR} – górna wartość współczynnika $K_{b/m}$ dla danego GSR, gdy działania są prowadzone w niekorzystnej porze roku,

KK^{min}_{GSR} – dolna wartość współczynnika $K_{b/m}$ dla danego GSR, gdy działania są prowadzone w korzystnej porze roku,

KK^{max}_{GSR} – górna wartość współczynnika $K_{b/m}$ dla danego GSR, gdy działania są prowadzone w korzystnej porze roku.

Wartości współczynnika $K_{b/m}$ zawarte są w dokumencie S-01 w załączniku do rozprawy. Dla przeprowadzenia podziału strat ogólnych stanu osobowego i-tego obiektu, powstałych w przedziale czasu ΔT_{k_i}, przy określonych środkach rażenia ($o^{gsr}_i = GSR$; o^{gsr}_i, $GSR \subseteq \mathbb{L}_r$) wartość współczynnika $K_{b/m}$ losowana jest według rozkładu równomiernego ze zbioru dopuszczalnych wartości:

– dla niekorzystnej pory roku

$$\bigwedge_{GSR \in 2^{\mathbb{L}_r}} \bigvee_{KB\$^{np}_{GSR} \in KB\$^{np}} : K^{*}_{b/m} \in KB\$^{np}_{GSR} ,$$

– dla korzystnej pory roku

$$\bigwedge_{GSR \in 2^{\mathbb{L}_r}} \bigvee_{KB\$^{kp}_{GSR} \in KB\$^{kp}} : K^{*}_{b/m} \in KB\$^{kp}_{GSR} ,$$

gdzie:

$K^{*}_{b/s}$ – wylosowana wartość współczynnika,

$\mathbb{KB\$}^{np}$ – rodzina wszystkich możliwych podzbiorów z wartościami współczynnika $K_{b/s}$ dla niekorzystnej pory roku,

$\mathbb{KB\$}^{kp}$ – rodzina wszystkich możliwych podzbiorów z wartościami współczynnika $K_{b/s}$ dla korzystnej pory roku,

przy czym:

$$\mathbb{KB\$}^{np} = \left\{ \mathbb{KB\$}^{np}_{GSR} \;:\; GSR \in 2^{\mathbb{L}_r} \right\} ,$$

$$\mathbb{KB\$}^{kp} = \left\{ \mathbb{KB\$}^{kp}_{GSR} \;:\; GSR \in 2^{\mathbb{L}_r} \right\} .$$

Zranienie lub zabicie żołnierza jest zdarzeniem losowym. Zdarzenia identyfikuje się przypisanymi im numerami: "ranny" numerem 1, a "zabity" numerem 2 ($\mathbb{Z}_{rz} = \{ 1,2 \}$). Niech Z_{zr} oznacza dyskretną zmienną losową określającą numer wylosowanego zdarzenia. Prawdopodobieństwa zajścia tych zdarzeń wyznacza się następująco:

$$P(Z_{rz} = 1) = \frac{1}{1 + K_{b/s}} ,$$

$$P(Z_{rz} = 2) = \frac{K_{b/s}}{1 + K_{b/s}} .$$

Dystrybuanta zmiennej losowej Z_{rz} opisana jest następująco:

$$F_{Z_{rz}}(z) = \sum_{z' \leq z} P(z') \quad ; \quad z, z' \in \mathbb{Z}_{rz} .$$

Rozdział strat ogólnych ludzi na rannych i zabitych przeprowadza się w sposób losowy (losowanie numeru zdarzenia), wykorzystując dystrybuantę $F_{Z_{rz}}$ oraz liczby l^{rnd}, wylosowane według rozkładu równomiernego ze zbioru $\mathcal{R}_{\Theta 1}$:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{\Theta 1}} \bigvee_{z \in \ddot{Z}_{rz}} : F_{Z_{rz}}(z-1) \leq l^{rnd} < F_{Z_{rz}}(z) \quad .$$

W wyniku losowań straty ogólne w stanie osobowym zostaną rozdzielone na straty sanitarne s_i^{ss} oraz bezpowrotne s_i^{b}

$$o_i^{sso}(\Delta T_{k_i}) = s_i^{ss}(\Delta T_{k_i}) + s_i^{b}(\Delta T_{k_i}) \quad .$$

Łączne straty sanitarne oraz straty bezpowrotne i-tego obiektu (od chwili rozpoczęcia przez obiekt działań bojowych) wyznacza się następująco:

$$o_i^{ss}(t)\Big|_{t=k_i \Delta T} = \sum_{k'=1}^{k_i} s_i^{ss}(\Delta T_{k'}) \quad ,$$

$$o_i^{sb}(t)\Big|_{t=k_i \Delta T} = \sum_{k'=1}^{k_i} s_i^{b}(\Delta T_{k'}) \quad .$$

Każdy obiekt bojowy $O_i \in \Phi^P$, w k_i-tym przedziale czasu ΔT, jest źródłem rannych o liczbie s_i^{ss}. Ranni przybywają do SZLE sukcesywnie, pojedynczo lub grupowo, tworząc zbiór opisów rannych $\mathbb{R}$, będący wejściowym strumieniem zgłoszeń

$$\mathbb{R} = \{ R_1, R_2, \ldots, R_j, \ldots, R_J \}$$

gdzie:

R_j - opis rannego o numerze j,

$\mathcal{J} = \{ 1,2,\ldots,j,\ldots,J \}$ - zbiór numerów rannych.

Każdego rannego $R \in \mathbb{R}$ opisuje piątka:

$$R = \langle ID, OZR, \mathbb{A}, r^{tzo}, r^{stan} \rangle$$

Poszczególne elementy tej "piątki" interpretowane są następująco:

ID - miejsce pobytu rannego. Miejsce pobytu rannego opisuje trójka:

$$ID = \langle r^{nro}, r^{nrp}, r^{nre} \rangle$$

gdzie:

r^{nro} - numer obiektu macierzystego rannego,

r^{nrp} - numer punktu medycznego, w którym przebywa ranny w chwili czasu t,

r^{nre} - numer elementu punktu medycznego;

OZR - opis zranienia. Opis zranienia charakteryzuje ósemka:

$OZR = \langle r^{mr}, r^{oa}, r^{cr}, r^{prof}, r^{pew}, r^{mtr}, r^{tzr}, r^{prio} \rangle$

gdzie:

r^{sr} - numer czynnika urazogennego, będącego przyczyną zranienia,

r^{oa} - numer obszaru anatomicznego,

r^{cr} - numer stopnia ciężkości zranienia,

r^{prof} - numer profilu zranienia,

r^{pew} - numer pozycji rannego podczas ewakuacji,

r^{mtr} - numer klasy środka transportu do ewakuacji,

r^{tzr} - czas powstania zranienia,

r^{prio} - priorytet obsługi rannego w SZLE;

$\mathbb{A}$ - zbiór charakterystyk czasowych, związanych z pobytem rannego na poszczególnych etapach ewakuacji

(punktach medycznych); pobyt rannego w punkcie medycznym klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$ opisuje siódemka:

$$< r_{l_p}^{tprz}, r_{l_p}^{tpom}, r_{l_p}^{tpob}, r_{l_p}^{tew}, r_{l_p}^{nrp}, r_{l_p}^{rpom}, r_{l_p}^{toew} >,$$

gdzie:

$r_{l_p}^{tprz}$ – czas przybycia rannego do punktu medycznego (w odniesieniu do czasu zranienia),

$r_{l_p}^{tpom}$ – czas udzielenia rannemu pomocy w punkcie medycznym (w odniesieniu do czasu zranienia),

$r_{l_p}^{tpob}$ – czas pobytu rannego w punkcie,

$r_{l_p}^{tew}$ – czas ewakuacji rannego z punktu medycznego do punktu nadrzędnego,

$r_{l_p}^{nrp}$ – numer punktu medycznego, w którym udzielono rannemu pomocy,

$r_{l_p}^{rpom}$ – numer rodzaju pomocy udzielanej rannemu w punkcie medycznym,

$r_{l_p}^{toew}$ – czas oczekiwania rannego w punkcie medycznym na ewakuację.

Zatem zbiór $\mathbb{A}$ zdefiniowany został następująco:

$$\mathbb{A} = \left\{ < r_{l_p}^{tprz}, r_{l_p}^{tpom}, r_{l_p}^{tpob}, r_{l_p}^{tew}, r_{l_p}^{nrp}, r_{l_p}^{rpom}, r_{l_p}^{toew} > \in \right.$$

$$\left. \in \mathbb{C}_+ \times \mathbb{C}_+ \times \mathbb{C}_+ \times \mathbb{C}_+ \times \mathbb{C}_+ \times \mathbb{C}_+ \times \mathbb{C}_+ \; ; \; l_p \in \mathbb{L}_p \right\}$$

gdzie $\mathbb{C}_+$ – zbiór liczb całkowitych dodatnich,

r^{tzo} – czas obsługi rannego, lub czas oczekiwania rannego na obsługę, w elemencie punktu medycznego:

- jeżeli $r^{tzo} < 0$, to $|r^{tzo}|$ jest czasem udzielania pomocy rannemu, w elemencie punktu medycznego,
- jeżeli $r^{tzo} \geq 0$, to r^{tzo} oznacza czas oczekiwania rannego w kolejce do obsługi;

r^{stan} – wskaźnik stanu rannego; w dowolnej chwili $t_i \in \mathbb{T}$

wskaźnik ten może przyjmować wartości ze zbioru $\{1,2,3,4,5,6,7,8\}$ o następującej interpretacji:

$$r^{stan}(t) = \begin{cases} 1 - \text{leczony w punkcie (medycznym)}, \\ 2 - \text{ewakuowany}, \\ 3 - \text{wyleczony}, \\ 4 - \text{zmarły}, \\ 5 - \text{skierowany na leczenie do szpitala}, \\ 6 - \text{zakończył leczenie w SZLE}, \\ 7 - \text{wzięty do niewoli}, \\ 8 - \text{oczekuje na ewakuację}. \end{cases}$$

Generowanie rannych można utożsamiać z wykonaniem ciągu eksperymentów. Pojedynczy eksperyment polega na wygenerowaniu dla rannego opisu zranienia OZR oraz miejsca pobytu rannego ID. W opisie zranienia określa się czynnik urazogenny, obszar anatomiczny, stopień ciężkości oraz profil zranienia. Wygenerownie zatem opisu zranienia dla każdego rannego wymaga przeprowadzenia klasyfikacji zranień według kryteriów będących elementami opisu zranienia.

Pierwszym kryterium podziału ($u = 1$, $u \in \mathbb{U}$) jest czynnik urazogenny. Niech $\mathbb{Z}_1 = \{1,2,\ldots,Z_1\}$ będzie zbiorem numerów czynników urazogennych. Do czynników urazogennych zalicza się środki rażenia oraz przyczyny zachorowań i zaburzeń psychicznych. Liczba zachorowań zależy od warunków sanitarno-epidemicznych, w jakich przebywają żołnierze. Zatem w celu wyznaczenia, jaki czynnik jest przyczyną zranienia (zachorowania, zaburzenia psychicznego), należy dla danej grupy środków rażenia, jakimi oddziaływuje przeciwnik oraz danego stanu sanitarno-epidemicznego określić prawdopodobieństwa rozkładu urazów na czynniki urazogenne. Wartości prawdopodobieństw ustala się na podstawie wskaźników procentowych (opisanych w dokumencie S-02 w załączniku rozprawy),

przy założeniu, że czynniki urazogenne są zdarzeniami wzajemnie się wyłączającymi. Zbiór $\mathbb{CU}$ z wartościami prawdopodobieństw rozkładu urazów na czynniki urazogenne zdefiniowany jest następująco:

$$\mathbb{CU} = \left\{ \mathbb{PCU}_{<GSR, l_{\omega}>} \; : \; <GSR, l_{\omega}> \in 2^{\mathbb{L}_r} \times \mathbb{L}_{\omega} \right\} ,$$

gdzie:

$<GSR, l_{\omega}>$ – dwójka uporządkowana, gdzie GSR jest podzbiorem numerów grup środków rażenia, a l_{ω} jest numerem stanu sanitarno-epidemicznego,

$\mathbb{PCU}_{<GSR, l_{\omega}>}$ – zbiór prawdopodobieństw rozkładu urazów na czynniki urazogenne dla danej dwójki $<GSR, l_{\omega}>$,

przy czym:

$$\mathbb{PCU}_{<GSR, l_{\omega}>} = \left\{ PCU_{<GSR, l_{\omega}>, z_1} \in \mathcal{R}_{\oplus 1} \; ; \; z_1 \in \ddot{\mathbb{Z}}_1 \right\} ,$$

gdzie:

$PCU_{<GSR, l_{\omega}>, z_1}$ – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia, że przyczyną urazu jest z_1-ty czynnik urazogenny dla danej pary $<gsr, l_{\omega}>$.

Niech Z_1 będzie dyskretną zmienną losową, określającą numer wylosowanego czynnika urazogennego. Dystrybuantę zmiennej losowej Z_1, dla dwójki $<gsr, l_{\omega}>$, wyznacza się następująco:

$$F_{Z_1}^{<GSR, l_{\omega}>}(z) = \sum_{z' \leq z} PCU_{<GSR, l_{\omega}>, z'} \; ; \quad z', z \in \ddot{\mathbb{Z}}_1 .$$

Losowanie numeru czynnika urazogennego dla rannego R_j,

pochodzącego z obiektu $O_i \in \mathfrak{O}^p$, dla grupy środków rażenia $o_i^{gsr} = GSR\ (o_i^{gsr},\ GSR \subseteq \mathbb{L}_r)$ oraz stanu sanitarno-epidemicznego $o_i^{nsep} = l_w\ (o_i^{nsep},\ l_w \in \mathbb{L}_w)$ przeprowadza się w sposób następujący:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{o_1}} \wedge \bigwedge_{<GSR, l_w> \in 2^{\mathbb{L}_r} \times \mathbb{L}_w} \bigvee_{z \in \ddot{Z}_i} :$$

$$: F_{Z_i}^{<GSR, l_w>}(z-1) \leq l^{rnd} < F_{Z_i}^{<GSR, l_w>}(z)\ .$$

Przyjmuje się, że przyczyną urazu jest czynnik urazogenny o numerze z. Zatem $r_j^{mr} = z$.

Zadziałanie czynnika urazogennego na ludzki organizm wywołuje uszkodzenie określonego obszaru anatomicznego ciała, charakteryzowane stopniem ciężkości oraz profilem. Niech czynnikowi urazogennemu o numerze $z_1 \in \ddot{\mathbb{Z}}_1$, przypisany będzie zbiór numerów obszarów anatomicznych (stanowiących drugie kryterium podziału ($u = 2$, $u \in \mathbb{U}$)), na które może on oddziaływać niszcząco

$$\ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1} = \{ 1,2,\ldots,\ddot{Z}_{2,z_1} \}\ .$$

Niech $\mathbb{OA}_{z_1}$ oznacza zbiór prawdopodobieństw rozkładu zranień ze względu na obszary anatomiczne

$$\mathbb{OA}_{z_1} = \left\{ p^{OA}_{z_2}\ ;\ z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1} \right\}\ ,$$

gdzie:

$p^{OA}_{z_2}$ – pawdopodobieństwo zranienia z_2-tego obszaru anatomicznego przez czynnik urazogenny o numerze $z_1 \in \ddot{\mathbb{Z}}_1$.

Dla każdego obszaru anatomicznego $z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1}$ ($z_1 \in \ddot{\mathbb{Z}}_1$)

istnieją:

- zbiór prawdopodobieństw rozkładu zranień na stopnie ciężkości; rozkład zranień na stopnie ciężkości jest trzecim kryterium podziału ($u = 3$, $u \in \Psi$)

$$\mathbb{P}^{SC}_{z_2} = \left\{ p^{SC}_{z_3} ; z_3 \in \ddot{\mathbb{Z}}_3 \right\},$$

gdzie:

$p^{SC}_{z_3}$ – prawdopodobieństwo zranienia o stopniu ciężkości z_3, obszaru anatomicznego o numerze $z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1}$,

$\ddot{\mathbb{Z}}_3 = \{ 1,2,\ldots,\ddot{Z}_3 \}$ – zbiór numerów stopni ciężkości zranień;

- zbiór prawdopodobieństw rozkładu zranień na profile; rozkład zranień na profile jest czwartym kryterium podziału ($u = 4$, $u \in \Psi$)

$$\mathbb{P}^{PR}_{z_2} = \left\{ p^{PR}_{z_4} ; z_4 \in \ddot{\mathbb{Z}}_4 \right\}$$

gdzie:

$p^{PR}_{z_4}$ – prawdopodobieństwo, że zranienie obszaru anatomicznego o numerze $z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1}$ będzie o profilu $z_4 \in \ddot{\mathbb{Z}}_4$,

$\ddot{\mathbb{Z}}_4 = \{ 1,2,\ldots,\ddot{Z}_4 \}$ – zbiór numerów profili zranień.

Wartości prawdopodobieństw wyznacza się na podstawie wskaźników procentowych opisanych w dokumencie S-03 w załączniku do rozprawy.

Zbiór obszarów anatomicznych, które mogą być uszkodzone jest zbiorem zdarzeń losowych wzajemnie wyłączających się, jeżeli przyjmie się założenie, że przy jednoczesnym urazie kilku obszarów anatomicznych ciała uwzględnia się tylko ten obszar, którego uraz jest najgroźniejszy w skutkach. Stopnie ciężkości zranień jak i profile zranień są z natury zdarzeniami wzajemnie się wyłączającymi.

Zakładając, że Z_2, Z_3, Z_4 oznaczają dyskretne zmienne losowe określające odpowiednio wylosowane numery obszarów anatomicznych, numery stopni ciężkości i numery profili zranienia, to dystrybuanty tych zmiennych losowych opisuje się następująco (gdzie $z_1 \in \ddot{\mathbb{Z}}_1$, $z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1}$, $z_3 \in \ddot{\mathbb{Z}}_3$, $z_4 \in \ddot{\mathbb{Z}}_4$):

$$F^{OA}_{Z_2}(z_2) = \sum_{z' \leq z_2} P^{OA}_{z'} \quad , \quad P^{OA}_{z'} \in \Phi\mathbb{A}_{z_1} \; ;$$

$$F^{SC}_{Z_3}(z_3) = \sum_{z' \leq z_3} P^{SC}_{z'} \quad , \quad P^{SC}_{z'} \in \mathbb{P}^{SC}_{z_2} \; ;$$

$$F^{PR}_{Z_4}(z_4) = \sum_{z' \leq z_4} P^{PR}_{z'} \quad , \quad P^{PR}_{z'} \in \mathbb{P}^{PR}_{z_2} \; .$$

Dla j-tego rannego numer obszaru anatomicznego przy określonym numerze czynnika urazogennego $z_1 = r^{SR}_j$ wyznacza się w sposób losowy:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{01}} \bigvee_{z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1}} : F^{OA}_{Z_2}(z_2 - 1) \leq l^{rnd} < F^{OA}_{Z_2}(z_2) \; .$$

W efekcie, zranienie zlokalizowane zostanie w obszarze anatomicznym o numerze $z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1}$, a zatem atrybut r^{OA}_j, dla j-tego rannego, przyjmuje wartość z_2 ($r^{OA}_j = z_2$).

Dla określonego numeru obszaru anatomicznego generuje

się stopień ciężkości oraz profil zranienia:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{\Theta 1}} \wedge \bigwedge_{z_2 \in \ddot{\mathcal{Z}}_{2,z_1}} \bigvee_{z_3 \in \ddot{\mathcal{Z}}_3} :$$

$$: F^{sc}_{Z_3}(z_3 - 1) \leq l^{rnd} < F^{sc}_{Z_3}(z_3) \quad .$$

Atrybut r^{sr}_j, dla rannego R_j, przyjmuje waroość z_3 ($r^{sr}_j = z_3$).

Profil zranienia:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{\Theta 1}} \wedge \bigwedge_{z_2 \in \ddot{\mathcal{Z}}_{2,z_1}} \bigvee_{z_4 \in \ddot{\mathcal{Z}}_4} :$$

$$: F^{PR}_{Z_4}(z_4 - 1) \leq l^{rnd} < F^{PR}_{Z_4}(z_4) \quad .$$

Atrybut r^{prof}_j, dla j-tego rannego, przyjmuje wartość z_4.

Zatem $r^{prof}_j = z_4$.

Czas zranienia dla j-tego rannego, pochodzącego z obiektu $O_i \in \Phi^P$, zawiera się w przedziale czasu [t,t+ΔT]. Ponieważ przedział czasu ΔT jest dużo mniejszy od przedziału czasu pracy SZLE ($\Delta T \ll T^k - T^p$) przyjmuje się, że rozkład czasu zranienia jest rozkładem równomiernym. Jeżeli przyczyną zranienia jest broń masowego rażenia, to czas zranienia jest jednakowy dla całej grupy rannych $s^m_i(\Delta T_{k_i})$. Dla pozostałych przypadków czas zranienia generuje się indywidualnie dla każdego rannego z przedziału [t,t+ΔT]:

$$\tau^{zran} \in [t, t+\Delta T],$$

gdzie τ^{zran} jest liczbą wylosowaną z przedziału [t,t+ΔT]

.

Zatem:

$$\bigwedge_{j \in \mathcal{J}} \quad r_j^{tzr} = \tau^{zrmn} \quad .$$

Zakłada się, że ranny w chwili $t = r_j^{tzr}$ (zranienia) jest gotowy do ewakuacji. Wskaźnik stanu rannego przyjmuje wartość 2 (stan "ewakuacja")

$$r_j^{stan}(t)\Big|_{t=r_j^{tzr}} = 2 \quad .$$

Z rejonu walki obiektu O_i ranny przybędzie do punktu medycznego obsługującego ten obiekt. Pierwszym elementem w punkcie medycznym, do którego kieruje się rannego jest zawsze posterunek kontrolno-rozdzielczy (PKR) oznaczany numerem 1, a więc $r_j^{nrm} = 1$.

Czas przybycia rannego z pola walki do pierwszego punktu SZLE wyznacza się losowo, z przedziału czasu uznawanego za normatywny, po upływie którego ranny powinien otrzymać w punkcie pomoc medyczną

$$\tau^{pdpm} \in [o_i^{tpmin}, o_i^{tpmax}] \quad .$$

Atrybut czas zajętości (zajętość rannego ewakuacją), dla j-tego rannego, w chwili t przyjmuje wartość

$$r_j^{tzo} = -\tau^{pdpm} \quad .$$

Zatem ranny przybędzie do punktu medycznego w chwili

$$t' = r_j^{tzr} + \left| r_j^{tzo} \right| \quad .$$

Ostatnim elementem opisu zranienia jest priorytet obsługi rannego. Priorytet obsługi ustala się dla j-tego rannego w chwili zranienia i będzie obowiązywał rannego przez cały czas pobytu w SZLE.

Najprostszym i "naturalnie sprawiedliwym" kryterium klasyfikacji, ustalającej kolejność wyboru rannych do obsługi (zabiegów leczniczych) przez punkty medyczne, jest czas oczekiwania w kolejce oczekujących. Jednakże nie uwzględnia ono specyfiki zranienia zarówno w odniesieniu do

przyczyny jak i stopnia jego ciężkości.

Dla pewnej klasy zranień, wynikłych przede wszystkim ze stosowania chemicznych i biologicznych środków rażenia, niepriorytetowe udzielanie pomocy może mieć nieodwracalne następstwa, a udzielenie pomocy w terminie późniejszym będzie niecelowe. Zatem czynnikami, charakteryzującymi rannego, jakie należy uwzględnić przy określaniu priorytetu obsługi będą :

- czynnik urazogenny,
- stopień ciężkości zranienia.

Trzecim czynnikiem jaki należałoby uwzględnić jest lokalizacja zranienia (obszar anatomiczny ciała). Nieuwzględnienie tego czynnika wynika z założenia, że podczas "leczenia etapowego z ewakuacją na kierunku", zranienia rozpatrywane są z dokładnością do profilu. Czynnik ten będzie uwzględniany podczas leczenia szpitalnego.

Dla podkreślenia znaczenia poszczególnych czynników proponuje się skonstruować wagi liczbowe [42]. Będą one przyjmowały tym większe wartości w im większym stopniu dany czynnik będzie miał wpływ na priorytet obsługi. Nadanie wartości wagom, w sposób arbitralny przez "decydenta", pozwoli przyjąć dowolną strategię obsługi wynikającą bądź to z obowiązującej doktryny bądź z planu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego. Zakłada się, że dla decydenta znane są odwzorowania:

$$f_1 : \ddot{Z}_1 \longrightarrow \mathbb{W}^{I} \quad ,$$

$$f_{\varkappa} : \ddot{Z}_{\varkappa} \longrightarrow \mathbb{W}^{II} \quad ,$$

gdzie:

$\mathbb{W}^{I}$ – zbiór wartości liczbowych wag dla czynników urazogennych:

$$\mathbb{W}^{I} = \{ 1,2,3,4,5 \},$$

$\mathbb{W}^{II}$ – zbiór wartości liczbowych wag dla stopni ciężkości zranienia:

$$\mathbb{W}^{II} = \{ 1,2,3 \}.$$

Priorytetem obsługi j-tego rannego, przy określonym czynniku urazogennym $z_1 \in \ddot{Z}_1$ oraz stopniu ciężkości zranienia $z_3 \in \ddot{Z}_3$, będzie suma wag

$$r_j^{Prio} = f_1(z_1) + f_3(z_3) = w^I_{z_1} + w^{II}_{z_3},$$

gdzie $w^I_{z_1} \in \mathbb{W}^I$ oraz $w^{II}_{z_3} \in \mathbb{W}^{II}$.

3.3.4. Model podsystemu leczniczego

Przyjmując założenie, że punkt medyczny obsługuje tylko jeden obiekt prowadzący działania bojowe, to struktura organizacyjna podsystemu leczniczego jest strukturą hierarchiczną, identyczną jak struktura organizacyjna obiektów. Model struktury organizacyjnej PSL opisuje dwójka:

$$PSL = \langle \mathbb{PM}, \Gamma_p \rangle$$

gdzie:

$\mathbb{PM}$ - zbiór punktów medycznych; $\mathbb{PM} \subset \check{\mathbb{E}}$,

$\Gamma_p \subseteq \mathbb{PM} \times \mathbb{PM}$ - relacja podporządkowania organizacyjnego punktów medycznych,

przy czym:

$\mathbb{PM} = \{ PM_n : n \in \mathbb{N} \}$,

PM_n - opis punktu medycznego,

$\mathbb{N} = \{ 0,1,2,\ldots,N \}$ - zbiór numerów punktów medycznych.

Oczywistym jest, że $\Gamma_p \equiv \Gamma_o$.

Definiując model struktury organizacyjnej i funkcjonalnej podsystemu leczniczego należy:

- przypisać każdemu obiektowi punkt medyczny, który będzie go obsługiwał,
- wybrać wariant struktury funkcjonalnej punktu medycznego oraz określić warunki pracy punktu.

3.3.4.1. Model punktu medycznego

Elementami funkcjonalnymi podsystemu leczniczego są punkty medyczne należące do różnych klas, w zależności od poziomu, jaki zajmują w strukturze hierarchicznej. Każdy punkt medyczny opisany jest w zestawie dokumentów P-01, P-02, P-03, P-04 - zamieszczonym w załączniku do rozprawy. Niezależnie od klasy punkty medyczne są opisane jednolicie. Dowolny punkt medyczny $PM \in \mathbb{PM}$ można opisać za pomocą pary:

$$PM = < P, MSP > ,$$

gdzie:

P - charakterystyki (atrybuty) punktu medycznego,

MSP - model struktury punktu medycznego.

Atrybuty punktu medycznego opisuje dziewiątka:

$$P = < CHP, \mathbb{DIR}, PG, NT, p^{kpm}, p^{nrw}, p^{zpom}, p^{stan} > .$$

Poszczególne elementy tej "dziewiątki" interpretowane są następująco:

CHP - "charakterystyka pracy" punktu. Pracę punktu charakteryzuje dziewiątka:

$$CHP = < p^{to}, p^{dr}, p^{lrp}, p^{lrup}, p^{lrew}, p^{lprz}, p^{top}, p^{tprz}, p^{tpr} >$$

gdzie:

p^{to} - czas rozpoczęcia pracy punktu w rejonie rozwinięcia,

p^{dr} - względna odległość rozwinięcia punktu (w chwili $t \in \mathbb{T}$) odniesiona do położenia obiektu w chwili T^p,

p^{lrp} - liczba rannych przybyłych do punktu (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

p^{lrup} - liczba rannych, którzy otrzymali w punkcie pomoc medyczną (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

p^{lrew} - liczba rannych wyewakuowanych z punktu medycznego (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

p^{lprz} - liczba przebazowań punktu medycznego,

p^{top} - czas oczekiwania na rozpoczęcie pracy punktu

w rejonie rozwinięcia (od chwili osiągnięcia gotowości do pracy),

p^{tprz} – czas przebazowania i odtwarzania przez punkt gotowości do pracy w nowym rejonie rozwinięcia,

p^{tpr} – czas pracy punktu w miejscu rozwinięcia.

DIR – zbiór normatywnych odległości rozwinięcia[1] punktu medycznego od przedniego skraju w zależności od rodzaju walki jaką prowadzą obiekty:

$$DIR = \left\{ < p_{l_w}^{dmin}, p_{l_w}^{dmax} > \in \mathcal{R}_+ \times \mathcal{R}_+ \; ; \; l_w \in \mathbb{L}_w \right\}$$

gdzie:

$p_{l_w}^{dmin}$ – minimalna odległość rozwinięcia punktu od przedniego skraju dla l_w-tego rodzaju walki,

$p_{l_w}^{dmax}$ – maksymalna odległość rozwinięcia punktu od przedniego skraju dla l_w-tego rodzaju walki.

PG – wartości graniczne atrybutów uważanych za kryteria do wyznaczania stanów krytycznych w pracy punktu medycznego. Do wyznaczania stanów krytycznych przyjęto pięć parametrów:

$$PG = < p^{dlmin}, p^{dlmax}, p^{obmax}, p^{tupmax}, p^{tprmax} >$$

gdzie:

p^{dlmin} – minimalna odległość punktu medycznego od przedniego skraju,

p^{dlmax} – maksymalna odległość punktu medycznego od przedniego skraju,

p^{obmax} – maksymalna liczba rannych jaką może przyjąć punkt medyczny,

p^{tupmax} – maksymalny czas, po upływie którego ranny

---

[1] Zasadniczym kryterium określania odległości rozwinięcia punktu medycznego od przedniego skraju (czoła wojsk własnych) jest czas potrzebny na dotarcie rannych i chorych do tego punktu.

powinien otrzymać w punkcie pomoc,

p^{tprmax} – maksymalny czas pracy punktu medycznego w miejscu rozwinięcia.

NT – normy czasowe:

$NT = \langle p^{tpmin}, p^{tpmax}, p^{tprzmin}, p^{tprzmax} \rangle$

gdzie:

p^{tpmin}, p^{tpmax} – normatywny przedział czasu po upływie, którego ranny powinien przybyć z pola walki do punktu,

$p^{tprzmin}, p^{tprzmax}$ – normatywny przedział czasu na przebazowanie punktu i odtworzenie gotowości do pracy.

p^{kpm} – numer klasy punktu medycznego,

p^{nrw} – numer wariantu modelu struktury punktu medycznego,

p^{zpom} – zakres pomocy medycznej,

p^{stan} – wskaźnik stanu punktu medycznego; w dowolnej chwili $t \in \mathbb{T}$ wskaźnik stanu punktu może przyjmować wartości ze zbioru $\{1,2,3,4,5,6\}$ o następującej interpretacji:

$$p^{stan}(t) = \begin{cases} 1 - \text{gotowość punktu do pracy w miejscu rozwinięcia,} \\ 2 - \text{punkt pracuje,} \\ 3 - \text{przygotowanie punktu do zakończenia pracy i przebazowanie do nowego rejonu rozwinięcia,} \\ 4 - \text{przygotowanie punktu do zakończenia pracy i przejście do odwodu szefa służby zdrowia,} \\ 5 - \text{punkt jest w odwodzie szefa służby zdrowia,} \\ 6 - \text{przebazowanie i odtwarzanie gotowości do pracy w nowym rejonie,} \\ 7 - \text{punkt zajęty przez przeciwnika.} \end{cases}$$

Definiowanie struktury organizacyjnej i funkcjonalnej podsystemu leczniczego polega na przyporządkowaniu obiektowi $O_i \in \Phi$ punktu medycznego określonej klasy. Klasę punktu medycznego, uprawnionego do obsługi obiektu O_i, określa wartość atrybutu o_i^{kpm}. Punkty medyczne należące do tej samej klasy mogą się różnić strukturą funkcjonalną. Dla przykładu PPM pułku zmechanizowanego może mieć inną strukturę niż PPM pułku artylerii pomimo, że punkty te będą udzielać pomocy medycznej tego samego rodzaju. Różnice w strukturze punktu mogą wynikać z różnej obsady etatowej punktów oraz wyposażenia w sprzęt medyczny. Przypisanie zatem obiektowi $O_i \in \Phi$ punktu medycznego polegać będzie na wyborze wariantu modelu struktury punktu (z zestawu wariantów modeli struktur punktów medycznych) określonej klasy. Niech $\mathbb{WPM}^*$ będzie zbiorem modeli struktur funkcjonalnych punktów medycznych, a $\mathbb{WPM}_{l_p}$ – zbiorem modeli struktur funkcjonalnych punktów medycznych klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$:

$$\mathbb{WPM}_{l_p} = \left\{ WPM_b : WPM_b \text{ jest } b\text{-tym modelem punktu medycznego klasy } l_p \; ; \; b \in \mathbb{B}_{l_p} \right\},$$

gdzie:

$\mathbb{B}_{l_p} = \{1,2,\ldots,B_{l_p}\}$ – zbiór numerów modeli struktur punktów medycznych klasy l_p.

Zatem zbiór wszystkich modeli struktur punktów medycznych wyznacza się następująco:

$$\mathbb{WPM}^* = \bigcup_{l_p=1}^{L_p} \mathbb{WPM}_{l_p} .$$

Punkt medyczny $PM_n \in \mathbb{PM}$, obsługujący obiekt $O_i \in \Phi$, musi być klasy określonej przez wartość artybutu o_i^{kpm}.

$$p_n^{kpm} = o_i^{kpm} \qquad ; \; p_n^{kpm}, \; o_i^{kpm} \in \mathbb{L}_p .$$

Struktura funkcjonalna punktu będzie zgodna z b-tym (wybranym) wariantem modelu struktury punktu ze zbioru modeli struktur $\mathbb{WIPM}_{l_p}$. Atrybut p_n^{nrw} przyjmuje wartość:

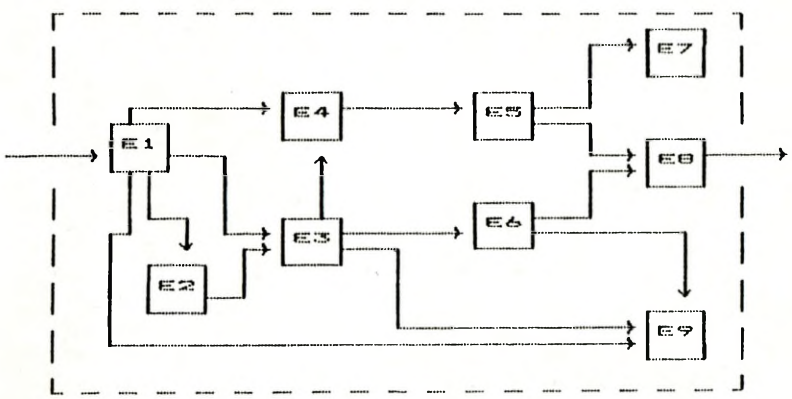
$$p_n^{nrw} = b \text{ , gdzie } b \in \mathbb{B}_{l_p}.$$

Obiektowi O_i przypisuje się numer obsługującego go punktu medycznego $o_i^{nrp} = n$ $(n \in \mathbb{N})$.

Przed rozpoczęciem pracy przez n-ty punkt medyczny, ustala się zakres pomocy medycznej udzielanej rannym w punkcie. Oznaczając przez $\mathbb{L}_m = \{ 1,2,3 \}$ - zbiór numerów zakresów pomocy medycznej, to punktowi medycznemu przypisuje się numer zakresu pomocy $p_n^{zpom} \in \mathbb{L}_m$.

Strukturę funkcjonalną punktu medycznego stanowią tylko te elementy funkcjonalne, w których wykonuje się zabiegi lecznicze. Struktura hipotetycznego punktu medycznego przedstawiona jest na rysunku 3.3..

Węzły E1 do E9 są elementami funkcjonalnymi punktu, natomiast gałęzie łączące węzły określają dopuszczalne drogi ruchu rannych wewnątrz punktu.



Rys. 3.3. Struktura funkcjonalna hipotetycznego punktu medycznego.

Formalnie model struktury funkcjonalnej punktu medycznego $PM_n \in \mathbb{PM}$ opisuje sieć:

$$MSP_n = \langle\langle \mathbb{E}_n, H_n \rangle, \{ \mathbb{KO}^*_n, \mathbb{SO}^*_n, \mathbb{PWE}^*_n \}, \{ \Phi \} \rangle ,$$

gdzie:

$\langle \mathbb{E}_n, H_n \rangle$ – przeciwzwrotny skierowany graf Berge'a, opisujący strukturę punktu medycznego,

$\{ \mathbb{KO}^*_n, \mathbb{SO}^*_n, \mathbb{PWE}^* \}$ – zbiór charakterystyk elementów funkcjonalnych (węzłów) punktu medycznego,

$\{\Phi\}$ – zbiór (pusty) charakterystyk gałęzi łączących elementy punktu;

przy czym:

$\mathbb{E}_n$ – zbiór elementów funkcjonalnych punktu,

$H_n \subseteq \mathbb{E}_n \times \mathbb{E}_n$ – relacja podporządkowania funkcjonalnego elementów punktu medycznego,

$\mathbb{KO}^*_n$ – zbiór kolejek rannych do elementów punktu medycznego,

$\mathbb{SO}^*_n$ – zbiór stanowisk obsługi elementów punktu medycznego,

$\mathbb{PWE}^*_n$ – rodzina zbiorów z pawdopodobieństwami wyboru elementów do obsługi rannego dla punktu medycznego o numerze $n \in \mathbb{N}$.

Niech $\mathbb{M}_n = \{ 1,2,\ldots,M_n \}$ $(n \in \mathbb{N})$ będzie zbiorem numerów elementów funkcjonalnych punktu medycznego $PM_n \in \mathbb{PM}$, a $\mathbb{E}_n$ będzie zbiorem określonym następująco:

$$\mathbb{E}_n = \{ E_m : m \in \mathbb{M}_n \} ,$$

gdzie E_m – opis m-tego elementu funkcjonalnego punktu medycznego o numerze n.

Każdy element dowolnego punktu medycznego można opisać za pomocą piątki:

$$E_m = \langle \mathbb{TZ}, e^{krp}, e^{ide}, e^{lr}, e^{lmo} \rangle .$$

Poszczególne elementy tej "piątki" oznaczają:

$\mathbb{TZ}$ – zbiór parametrów (normatywnych czasów zajętości) charakteryzujących element punktu medycznego – okre-

ślony następująco:

$$\mathbb{TZ} = \left\{ < e^{tzrmin}_{l_m}, e^{tzrmax}_{l_m}, e^{tzemin}_{l_m}, e^{tzemax}_{l_m} > \in \right.$$

$$\left. \in \mathcal{C}_+ \times \mathcal{C}_+ \times \mathcal{C}_+ \times \mathcal{C}_+ \; ; \; l_m \in \mathbb{L}_m \right\} ,$$

przy czym:

$e^{tzrmin}_{l_m}$ – minimalny czas zajętości rannego czynnościami leczniczymi w elemencie punktu dla l_m-tego zakresu pomocy,

$e^{tzrmax}_{l_m}$ – maksymalny czas zajętości rannego czynnościami leczniczymi w elemencie punktu dla l_m-tego zakresu pomocy,

$e^{tzemin}_{l_m}$ – minimalny czas zajętości stanowiska obsługi elementu punktu (czynnościami leczniczymi) dla l_m-tego zakresu pomocy,

$e^{tzemax}_{l_m}$ – maksymalny czas zajętości stanowiska obsługi elementu punktu (czynnościami leczniczymi) dla l_m-tego zakresu pomocy,

e^{krp} – numer rodzaju pomocy medycznej (czynności leczniczej) jaką ranny otrzymuje w elemencie punktu medycznego,

e^{ide} – identyfikator rodzaju elementu,

e^{lr} – liczba rannych obsłużonych przez stanowiska obsługi elementu (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

e^{lmo} – etatowa liczba stanowisk obsługi elementu.

Normatywny przedział czasu zajętości rannego, przy określonym zakresie pomocy medycznej $l_m \in \mathbb{L}_m$, obejmuje czas wykonywania czynności leczniczych w elemencie oraz czas potrzebny na dostarczenie rannego do następnego elementu punktu. Przyjmuje się, że jest on nie mniejszy od normatywnego czasu zajętości stanowiska obsługi elementu

$$(e^{tzrmax}_{l_m} - e^{tzrmin}_{l_m}) \geq (e^{tzemax}_{l_m} - e^{tzemin}_{l_m}) \quad .$$

Elementy punktu medycznego w zależności od miejsca jakie zajmują w strukturze funkcjonalnej punktu zostały podzielone na wewnętrzne oraz końcowe. Położenie elementu określa wartość atrybutu e^{idm}. Dla dowolnego elementu, każdego punktu medycznego, wartości atrybutu e^{idm} interpretuje się następująco:

$$e^{idm} = \begin{cases} 0 - \text{element wewnętrzny punktu,} \\ 1 - \text{element końcowy "pododdział ozdrowieńców",} \\ 2 - \text{element końcowy "miejsce opieki humanitarnej",} \\ 3 - \text{element końcowy "ewakuacyjny".} \end{cases}$$

W każdym elemencie punktu medycznego wykonuje się, w zależności od zakresu pomocy, określone czynności lecznicze. Elementy punktu medycznego, ze względu na wykonywane w nich czynności lecznicze, podzielone zostały na takie, w których wykonuje się pomocnicze zabiegi lecznicze oraz takie, w których wykonywane czynności pozwalają stwierdzić, że przebywający w tych elementach ranny otrzymał określonego rodzaju pomoc medyczną.

Oznaczając przez $\mathbb{L}_c = \{ 1,2,\ldots,L_c \}$ zbiór numerów czynności leczniczych, to każdy element punktu charakteryzuje numer wykonywanej czynności leczniczej $e^{krp} \in \mathbb{L}_c$.

Na elemencie E_m ($E_m \in \mathbb{E}_n$; $m \in \mathbb{M}_n$, $n \in \mathbb{N}$), stanowiącym wierzchołek grafu $\langle \mathbb{E}_n, H_n \rangle$ opisany jest zbiór charakterystyk

$$\{ \mathbb{K}\Phi_m , \$\Phi_m , \mathbb{P}W_m \} ,$$

gdzie:

$\mathbb{K}\Phi_m$ – kolejka rannych oczekujących na obsługę w elemencie E_m, punktu medycznego PM_n,

$\$\Phi_m$ – zbiór stanowisk obsługi elementu E_m,

$\mathbb{P}W_m$ – zbiór prawdopodobieństw wyboru numeru następnego elementu do obsługi rannego, jeżeli przebywa on w elemencie E_m.

Kolejkę rannych oczekujących na obsługę w m-tym elemencie n-tego punktu medycznego wyznacza się następująco:

$$KO_m = \left\{ R_j \in R : (r_j^{nrp} = n) \wedge (r_j^{nre} = m) \wedge (r_j^{tzo} \geq 0); j \in J \right\} .$$

Zbiorem wszystkich kolejek z rannymi do elementów punktu medycznego o numerze $n \in N$ jest

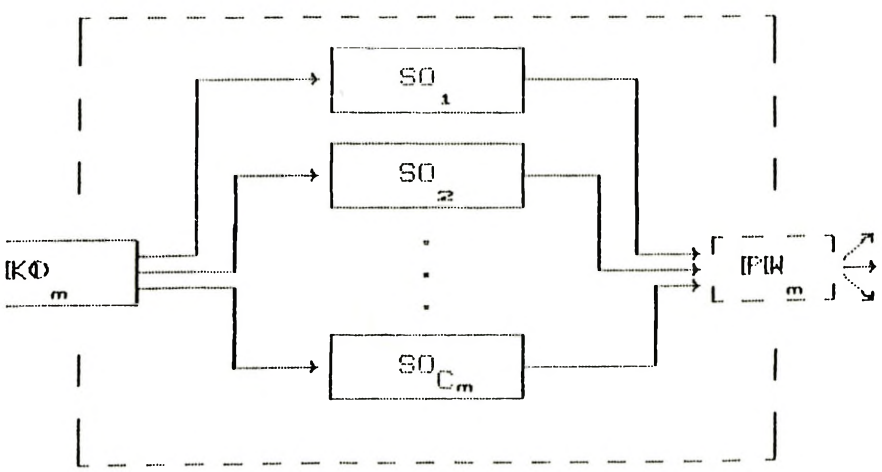
$$KO_n^* = \bigcup_{m=1}^{M_n} KO_m .$$

Kolejka KO_m jest kolejką priorytetową. Miejsce rannego R_j w kolejce wyznacza priorytet obsługi rannego r_j^{prio}. Jeżeli więcej rannych posiada ten sam priorytet obsługi, to pozycję w kolejce, w ramach równego priorytetu, wyznacza czas przybycia rannego do kolejki (elementu).

Rozpatrywany m-ty element n-tego punktu medycznego posiada e_m^{lmo} stanowisk obsługi. Ponadto w zależności od możliwości i potrzeb, wybrany m-ty element może zostać wzmocniony dodatkowymi stanowiskami obsługi w ilości LS_m (wzmocnienie personelem i sprzętem medycznym z odwodu medycznego szefa służby zdrowia). Zatem łączna liczba stanowisk obsługi wynosi

$$C_m = e_m^{lmo} + LS_m , \quad m \in M_n .$$

Struktura elementu E_m punktu medycznego przedstawiona jest na rysunku 3.4..



Rys. 3.4. Struktura elementu punktu medycznego.

Niech $\mathbb{C}_m = \langle 1,2,\ldots,C_m \rangle$ będzie zbiorem numerów stanowisk obsługi elementu E_m ($m \in \mathbb{M}_n$, $n \in \mathbb{N}$). Zbiór stanowisk obsługi opisany jest następująco:

$$\mathbb{SO}_m = \left\{ SO_c \; ; \; c \in \mathbb{C}_m \right\},$$

gdzie:

SO_c – opis c-tego stanowiska obsługi; stanowisko obsługi SO_c opisane jest czwórką:

$$SO_c = \langle so^{tzo}, so^{tzs}, so^{tos}, so^{tor} \rangle ,$$

przy czym:

so^{tzo} – czas zajętości stanowiska obsługi wykonywaniem czynności leczniczych lub czas oczekiwania stanowiska obsługi na przybycie rannego:

- jeżeli $so^{tzo} < 0$ to $|so^{tzo}|$ jest czasem (zajętości stanowiska) wykonywania czynności leczniczych,
- jeżeli $so^{tzo} \geq 0$ to oznacza czas oczekiwania stanowiska na przybycie rannego,

so^{tzs} – łączny czas wykonywania czynności leczniczych, przez stanowisko obsługi (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

so^{tos} – łączny czas oczekiwania stanowiska obsługi na przybycie rannych (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

so^{tor} – łączny czas oczekiwania rannych na obsługę na danym stanowisku (do chwili $t \in \mathbb{T}$).

Zbiór wszystkich stanowisk obsługi punktu medycznego PM_n wyznacza się następująco:

$$\mathbb{SO}^*_n = \bigcup_{m=1}^{M_n} \mathbb{SO}_m .$$

Po wykonaniu zabiegów leczniczych w elemencie E_m, rannego kieruje się do jednego z elementów punktu medycznego wyznaczonego relacją $H_n(m)$.

Dla zilustrowania wyznaczania relacją H_n zbioru następników danego elementu można posłużyć się punktem medycznym o strukturze przedstawionej na rysunku 3.3.. Jeżeli ranny znajduje się w elemencie numer 3, to zbiór elementów, do których może być on skierowany jest następujący

$$H_n(3) = \{4,6,9\}.$$

Wybór następnego elementu funkcjonalnego punktu medycznego ze zbioru elementów wyznaczonych relacją H_n uzależnia się od następujących czynników:

- zakresu pomocy medycznej ustalonego dla n-tego punktu medycznego (wartość atrybutu p_n^{zpom});
- charakterystyki zranienia j-tego rannego, na którą składają się:
  - czynnik urazogenny (wartość atrybutu r_j^{mr}),
  - stopień ciężkości zranienia (wartość atrybutu r_j^{sr}),
  - profil zranienia (wartość atrybutu r_j^{prof}).

Każdy element punktu medycznego (w zależności od wyżej wymienionych czynników) charakteryzuje zbiór prawdopodobieństw wyboru następnego elementu punktu do obsługi rannego. Wartości prawdopodobieństw wyznacza się na podstawie wskaźników procentowych opisanych w dokumencie P-03 - w załączniku do rozprawy.

Niech $\mathbb{PWE}_n^*$ oznacza rodzinę zbiorów z prawdopodobieństwami wyboru elementów do obsługi rannego dla punktu medycznego o numerze $n \in \mathbb{N}$

$$\mathbb{PWE}_n^* = \left\{ \mathbb{PW}_m : m \in \mathbb{M}_n \right\},$$

gdzie:

$\mathbb{PW}_m$ - zbiór z rozkładami prawdopodobieństw wyboru następnego elementu do obsługi rannego, jeżeli ranny

znajduje się w elemencie E_m punktu medycznego, przy czym:

$$\mathrm{PW}_m = \left\{ P_{<l_m,z_1,z_3,z_4>,m^*} \in \mathcal{R}_{e1} \; ; \; <l_m,z_1,z_3,z_4> \in \right.$$

$$\left. \in \mathbb{L}_m \times \ddot{\mathbb{Z}}_1 \times \ddot{\mathbb{Z}}_3 \times \ddot{\mathbb{Z}}_4 \; , \; m \in \mathbb{M}_n \; , \; m^* \in H_n(m), \; n \in \mathbb{N} \right\}$$

gdzie:

$P_{<l_m,z_1,z_3,z_4>,m^*}$ – prawdopodobieństwo wybrania m^*–tego elementu do obsługi rannego, pod warunkiem, że ranny przebywał w m–tym elemencie punktu i znane są :

- zakres pomocy medycznej ($l_m \in \mathbb{L}_m$),
- opis zranienia, na który składają się:
  - czynnik urazogenny ($z_1 \in \ddot{\mathbb{Z}}_1$),
  - stopień ciężkości zranienia ($z_3 \in \ddot{\mathbb{Z}}_3$),
  - profil zranienia ($z_4 \in \ddot{\mathbb{Z}}_4$),

$m^* \in H_n(m)$ – numer elementu, do którego może być skierowany ranny przebywający w elemencie o numerze m.

Niech $H_n(m)$ będzie zbiorem numerów elementów – następników m–tego elementu punktu medycznego PM_n. Ponieważ ranny może trafić tylko do jednego z elementów wyznaczonych relacją H_n, to zbiór $H_n(m)$ jest zbiorem zdarzeń elementarnych wzajemnie wyłączających się. Przyjmuje się, że zbiór numerów elementów wyznaczonych relacją $H_n(m)$ jest rosnąco uporządkowany. Niech Z_m oznacza dyskretną zmienną losową określającą numer następnego elementu wylosowanego do obsługi rannego. Dystrybuanta zmiennej losowej Z_m dla danej czwórki $<l_m,z_1,z_3,z_4>$ i $z \in H_n(m)$ (gdzie $m \in \mathbb{M}_n$), określona jest następująco:

$$F_{Z_m}^{<l_m,z_1,z_3,z_4>}(z) = \sum_{z' \leq z} P_{<l_m,z_1,z_3,z_4>,z'} \; .$$

Losowanie numeru następnego elementu do obsługi rannego (przebywającego w elemencie E_m ; $n \in \mathbb{N}$, $m \in \mathbb{M}_n$ punktu medycznego), przy określonej czwórce $\langle l_m, z_1, z_3, z_4 \rangle$, przeprowadza się stosując poniższą formułę zdaniową:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{01}} \bigvee_{z \in H_n(m)} : F_{Z_m}^{\langle l_m, z_1, z_3, z_4 \rangle}(z-1) \leq l^{rnd} < F_{Z_m}^{\langle l_m, z_1, z_3, z_4 \rangle}(z) \quad .$$

3.3.4.2. Funkcjonowanie punktu medycznego

Praca punktów medycznych zostanie omówiona na przykładzie punktu $PM_n \in \mathbb{PM}$ obsługującego obiekt $O_i \in \Phi$. Punkt PM_n w miejscu pracy udziela pomocy rannym i chorym zgodnie z ustalonym zakresem pomocy ($p_n^{zpom} = l_m$; p_n^{zpom} , $l_m \in \mathbb{L}_m$).

W chwili $t' \in \mathbb{T}$ punkt PM_n osiąga gotowość do pracy w miejscu rozwinięcia jeżeli:

- obiekt O_i rozpoczyna działania bojowe w chwili

$$(t' = o_i^{tp}) \Longrightarrow (p_n^{stan}(t') = 1),$$

- punkt PM_n zakończył przebazowanie oraz odtwarzanie gotowości do pracy w nowym rejonie rozwinięcia i jest w stanie

$$(p_n^{stan}(t') = 6) \Longrightarrow (p_n^{stan}(t') = 1),$$

- punkt PM_n wprowadzony jest z odwodu szefa służby zdrowia i znajduje się w stanie

$$(p_n^{stan}(t') = 5) \Longrightarrow (p_n^{stan}(t') = 1).$$

Z chwilą osiągnięcia przez punkt PM_n gotowości do pracy atrybuty CHP_n, charakteryzujące pracę punktu, przyjmują wartości początkowe (zero). Ponadto wartości początkowe przyjmują następujące atrybuty charakteryzujące pracę elementów punktu:

$$\bigwedge_{m \in \mathbb{M}_n} e_m^{lr} = 0 ,$$

$$\bigwedge_{m \in \mathbb{M}_n} \bigwedge_{c \in \mathbb{C}_m} (so_c^{tzm} = 0 , so_c^{tom} = 0 , so_c^{tor} = 0).$$

Jeżeli obiekt O_i jest obiektem bojowym ($O_i \in \Phi^B$) to czas, po upływie którego ranny z pola walki powinien przybyć do punktu określają wartości atrybutów $(p_n^{tpmin}, p_n^{tpmax})$.

Niech obiekt $O_i \in \Phi$ prowadzi walkę o rodzaju określonym wartością atrybutu o_i^{nrw} ($o_i^{nrw} = l_w$; o_i^{nrw}, $l_w \in \mathbb{L}_w$). Przyjmuje się, że odległość rozwinięcia punktu PM_n od przedniego skraju obiektu O_i, wyznacza się losowo z zadanego przedziału wartości (według rozkładu równomiernego)

$$d^{rozw} \in [\, p_{n,l_w}^{dmin} , p_{n,l_w}^{dmax} \,] .$$

W działaniach zaczepnych ($o_i^{rub}(t) \geq 0$) względna odległość rozwinięcia punktu medycznego (odniesiona do położenia obiektu w chwili rozpoczęcia działań) od przedniego skraju wynosi

$$p_n^{dr}(t') = o_i^{rub}(t') - d^{rozw} ,$$

zaś w działaniach obronnych ($o_i^{rub}(t) \leq 0$)

$$p_n^{dr}(t') = | o_i^{rub}(t') | + d^{rozw} .$$

Punkt medyczny PM_n rozpocznie pracę w chwili $t \geq t'$, jeżeli do elementu E_i, przyjmującego rannych przybędzie

pierwszy ranny R_j, spełniający warunek:

$$\bigvee_{j:R_j \in \mathbb{R}} : \; (r_j^{nrp} = n) \wedge (r_j^{nre} = 1) \wedge (r_j^{tzo} \geq 0) \; .$$

Atrybut określający czas rozpoczęcia pracy przez punkt PM_n przyjmie wartość $p_n^{to} = t$.

Atrybut określający czas oczekiwania punktu na rozpoczęcie pracy (od chwili osiągnięcia gotowości do pracy w miejscu rozwinięcia) przyjmuje wartość $p_n^{top} = t - t'$.

W chwili rozpoczęcia pracy elementy punktu są gotowe do przyjmowania i obsługi rannych. Element E_m rozpocznie pracę, jeżeli do kolejki $\mathbb{KO}_m$ przybędzie pierwszy ranny. Kolejka ta zdefiniowana jest następująco:

$$\mathbb{KO}_m = \left\{ R_j \in \mathbb{R} : (r_j^{nrp} = n) \wedge (r_j^{nre} = m) \wedge \right.$$

$$\left. \wedge (r_j^{tzo} \geq 0) \; ; \; j \in \mathbb{J}, \; n \in \mathbb{N}, \; m \in \mathbb{M}_n \right\} \; .$$

Z kolejki oczekujących ranni są kierowani do wolnych stanowisk obsługi elementu E_m. Niech w chwili $t \in \mathbb{T}$ będzie wolne stanowisko obsługi SO_c. Z kolejki oczekujących wybierany jest ranny o najwyższym priorytecie obsługi, a spośród rannych o równych priorytetach obsługi wybierany jest ranny najdłużej oczekujący. Stanowisko SO_c ($c \in \mathbb{C}_m$) będąc wolne w chwili t, oczekuje na rannego przez czas so_c^{tzo}. Łączny czas oczekiwania stanowiska obsługi, od chwili rozpoczęcia przez punkt PM_n pracy, wynosi:

$$so_c^{tos}(t) = so_c^{tos}(t - \Delta t)) + so_c^{tzo} \; .$$

Przyjmuje się, że czas zajętości τ^{so} stanowiska obsługi związany z udzielaniem pomocy rannemu R_j w ramach l_m-tego zakresu pomocy medycznej, losowany jest z przedziału wartości

$$\tau^{so} \in [\, e_{m,l_m}^{tzsmin} \; , \; e_{m,l_m}^{tzsmax} \,] \quad ; \; m \in \mathbb{M}_n \; , \; l_m \in \mathbb{L}_m \; .$$

Od chwili t stanowisko obsługi SO_c będzie zajęte przez czas τ^{so}. Atrybut so_c^{tzo} przyjmie wartość

$$so_c^{tzo} = -\tau^{so} \quad .$$

Jeżeli $\tau^{so} = 0$, to stanowisko obsługi w chwili t jest wolne i gotowe do przyjęcia następnego rannego z kolejki oczekujących KO_m. Łączny czas wykonywania czynności leczniczych przez c-te stanowisko w chwili $t + \tau^{so}$ wynosi

$$so_c^{tzm}(t+\tau^{so}) = so_c^{tzm}(t) + \tau^{so} \quad .$$

Liczba rannych, którym udzielono pomocy w elemencie E_m punktu medycznego PM_n wynosi

$$e_m^{lr}(t + \tau^{so}) = e_m^{lr}(t) + 1 \quad .$$

Ranny R_j oczekuje w kolejce KO_m na obsługę przez czas r_j^{tzo}. Łączny czas oczekiwania rannych do stanowiska SO_c wynosi

$$so_c^{tor}(t) = so_c^{tor}(t - \Delta t) + r_j^{tzo} \quad .$$

Ranny R_j zajęty będzie czynnościami leczniczymi (oraz pomocniczymi) w elemencie E_m przez czas τ^{zmjr}. Czas zajętości rannego losowany jest z przedziału

$$\tau^{zmjr} \in [\, e_{m,l_m}^{tzrmin} \,,\, e_{m,l_m}^{tzrmax} \,] \quad .$$

Atrybut czasu zajętości rannego w chwili t przyjmie wartość

$$r_j^{tzo} = -\tau^{zmjr} \quad .$$

Przyjmuje się, że czas zajętości rannego nie może być mniejszy od czasu zajętości stanowiska obsługi $\tau^{zmjr} \geq \tau^{so}$.

Po upływie czasu τ^{zmjr} ranny R_j przejdzie do kolejki oczekujących następnego elementu punktu medycznego.

Jeżeli czynności lecznicze, jakie wykonano dla rannego

R_j w elemencie E_m, są "ważniejsze" od czynności leczniczych jakie wykonano w poprzednim elemencie punktu tj.

$$r^{rpom}_{j,l_p} < e^{krp}_{m},$$

to przyjmuje się, że w chwili $t+\tau^{so}$ ranny R_j otrzymał pomoc (wykonano czynności lecznicze) rodzaju e^{krp}_{m}. Zatem atrybut r^{rpom}_{j,l_p} przyjmie wartość

$$r^{rpom}_{j,l_p} = e^{krp}_{m}.$$

Czas otrzymania pomocy (wykonania czynności leczniczych) w odniesieniu do czasu zranienia rannego R_j określa się następująco

$$r^{tpom}_{j,l_p} = (t + \tau^{so}) - r^{tzr}_{j}.$$

Niech rozpatrywany element E_m obsługujący rannego R_j będzie:

A. **Elementem wewnętrznym punktu** ($H_n(m) \neq \emptyset$). Ranny R_j przebywający w elemencie E_m po upływie czasu τ^{zmjr} będzie skierowany do jednego z elementów wyznaczonych relacją $H_n(m)$. Dla rannego R_j o opisie zranienia: $r^{sr}_{j} = z_1$, $r^{er}_{j} = z_3$ oraz $r^{prof}_{j} = z_4$ (gdzie $z_1 \in \overline{Z}_1$, $z_3 \in \overline{Z}_3$, $z_4 \in \overline{Z}_4$), przebywającego w m-tym elemencie punktu medycznego PM_n (udzielającego pomocy w zakresie $p^{zpom}_{n} = l_m$, $l_m \in \mathbb{L}_m$), numer następnego elementu wyznacza się w sposób losowy. Losowanie numeru następnego elementu do obsługi rannego przebywającego w elemencie E_m ($n \in \mathbb{N}$, $m \in \mathbb{M}_n$) punktu medycznego, przy określonej czwórce $\langle l_m, z_1, z_3, z_4 \rangle$,

przeprowadza się stosując poniższą formułę zdaniową:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{o1}} \quad \bigvee_{z \in H_n(m)} : F_{Z_m}^{<l_m, z_1, z_3, z_4>}(z-1) \leq l^{rnd} < F_{Z_m}^{<l_m, z_1, z_3, z_4>}(z) \ .$$

Wylosowany numer elementu, do którego skieruje się rannego stanowi wartość atrybutu $r_j^{nr\blacksquare}$ $(r_j^{nr\blacksquare} = z)$.

B. **Przyjmującym rannych do punktu medycznego.** Ranny R_j przybywający do kolejki oczekujących KO_m (w chwili t - wyładowania z sanitarki) przechodzi ze stanu "ewakuowany" w stan "leczony w punkcie". A zatem jeżeli

$$(r_j^{\blacksquare tan}(t) = 2) \longrightarrow (r_j^{\blacksquare tan}(t) = 1) \ .$$

Liczba rannych przybyłych do punktu od chwili rozpoczęcia pracy w miejscu rozwinięcia wynosi

$$p_n^{lrp}(t) = p_n^{lrp}(t-\Delta t) + 1 \ ,$$

zaś atrybut czas przybycia rannego R_j do punktu PM_n przyjmuje wartość

$$r_{j,l_p}^{tprz} = t - r_j^{tzr} \ .$$

C. **Elementem końcowym punktu** $(\overline{H_n(m)} = 0)$.

Pododdział ozdrowieńców $(e_m^{ide} = 1)$. Ranny R_j po upływie czasu $t+\tau^{zmjr}$ uważany jest za wyleczonego i powraca do obiektu macierzystego. Czas pobytu rannego w punkcie PM_n klasy l_p wyznacza się następująco:

$$r_{j,l_p}^{tpob} = (t + \tau^{zmjr}) - (r_j^{tzr} + r_{j,l_p}^{tprz}) \ .$$

W chwili $t + \tau^{zmjr}$ ranny przechodzi ze stanu "leczony w punkcie" w stan "wyleczony". A zatem jeżeli

$$(r_j^{stan}(t+\tau^{zmjr}) = 1) \Longrightarrow (r_j^{stan}(t+\tau^{zmjr}) = 3) \ .$$

Miejsce opieki humanitarnej ($e_m^{ide} = 2$). Ranny R_j, któremu udzielana jest pomoc ze względów humanitarnych, po upływie czasu $t + \tau^{zmjr}$ uważany jest za zmarłego od ran. Czas pobytu rannego w punkcie PM_n wynosi

$$r_{j,l_p}^{tpob} = (t + \tau^{zmjr}) - (r_j^{tzr} + r_{j,l_p}^{tprz}) \ .$$

W chwili $t + \tau^{zr}$ ranny przechodzi ze stanu "leczony w punkcie" w stan "zmarły". A zatem jeżeli

$$(r_j^{stan}(t+\tau^{zr}) = 1) \Longrightarrow (r_j^{stan}(t+\tau^{zr}) = 4) \ .$$

Izba (miejsce,oddział) ewakuacji ($e_m^{ide} = 3$). Jeżeli rozpatrywany punkt PM_n jest jednym z pierwszych etapów leczniczo-ewakuacyjnych (tj. $\overline{\Gamma_p(n)} = \emptyset$), to w elemencie ewakuacyjnym E_m przeprowadza się segregację ewakuacyjną. Segregacja ewakuacyjna polega na określeniu, w zależności od opisu zranienia rannego R_j (czynnika urazogennego, obszaru anatomicznego oraz stopnia ciężkości zranienia), pozycji ewakuacji oraz klasy środka transportu.

Niech $\mathbb{L}_{pe} = \{1,2,\ldots,L_{pe}\}$ będzie zbiorem numerów pozycji ewakuacji, a $\mathbb{L}_{se} = \{1,2,\ldots,L_{se}\}$ będzie zbiorem numerów klas środków ewakuacji jakimi można transportować rannych. Pozycję ewakuacji oraz klasę środka transportu (dokument E-01 w załączniku do rozprawy) przyporządkowuje się wszystkim kombinacjom opisu zranienia. Zbiór z parametrami do przeprowadzenia segregacji ewakuacyjnej

rannych określa się następująco:

$$\mathbb{SE} = \left\{ \langle LP_{\langle z_1,z_2,z_3\rangle}, LS_{\langle z_1,z_2,z_3\rangle}\rangle \in \mathbb{L}_{pe} \times \mathbb{L}_{se};\ \langle z_1,z_2,z_3\rangle \in \ddot{\mathbb{Z}}_1 \times \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1} \times \ddot{\mathbb{Z}}_3 \right\},$$

gdzie:

$LP_{\langle z_1,z_2,z_3\rangle}$ – numer pozycji ewakuacji rannego dla opisu zranienia określonego trójką $\langle z_1,z_2,z_3\rangle$,

$LS_{\langle z_1,z_2,z_3\rangle}$ – numer klasy środka transportu do ewakuacji rannego dla opisu zranienia określonego trójką $\langle z_1,z_2,z_3\rangle$.

Ranny R_j, którego obrażenia wywołane są przez czynnik urazogenny $r_j^{str} = z_1$ ($z_1 \in \ddot{\mathbb{Z}}_1$), zlokalizowane w obszarze anatomicznym o numerze $r_j^{obsz} = z_2$ ($z_2 \in \ddot{\mathbb{Z}}_{2,z_1}$), o stopniu ciężkości zranienia $r_j^{cr} = z_3$ ($z_3 \in \ddot{\mathbb{Z}}_3$) będzie ewakuowany w pozycji określonej wartością atrybutu r_j^{pew}, środkiem transportu, którego klasę określa wartość atrybutu r_j^{str}. Atrybuty r_j^{pew} i r_j^{str} przyjmują wartości:

$$r_j^{pew} = LP_{\langle z_1,z_2,z_3\rangle},$$

$$r_j^{str} = LS_{\langle z_1,z_2,z_3\rangle}.$$

Jeżeli rozpatrywany punkt medyczny PM_n nie jest ostatnim etapem ewakuacji w SZLE (tzn. $\overline{\Gamma^{-1}(n)} \neq \emptyset$), to ranny od chwili $t + \tau^{zmdr}$ będzie przygotowany do ewakuacji. A zatem jeżeli

$$(r_j^{stan}(t+\tau^{zmdr}) = 1) \Longrightarrow (r_j^{stan}(t+\tau^{zmdr}) = 8).$$

Jeżeli punkt medyczny PM_n klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$ jest ostatnim etapem ewakuacji w SZLE (tzn. $\overline{\Gamma^{-1}}(n) = \emptyset$), to ranny R_j w chwili $t+\tau^{zmjr}$ opuści SZLE. Czas pobytu rannego w punkcie wynosi

$$r^{tpob}_{j,l_p} = (t+\tau^{zmjr}) - (r^{tzr}_{j} + r^{tprz}_{j,l_p}) \quad .$$

Jeżeli punkt PM_n będący ostatnim etapem ewakuacji nie jest punktem medycznym klasy DPM (tzn. $p^{kpm}_n > 1$), to ranny w chwili $t + \tau^{zmjr}$ przechodzi ze stanu "leczenie w punkcie" w stan "zakończył leczenie w SZLE". A zatem jeżeli

$$(r^{mtsn}_{j}(t+\tau^{zmjr}) = 1) \Longrightarrow (r^{mtsn}_{j}(t+\tau^{zmjr}) = 6) \quad .$$

Natomiast jeżeli punkt PM_n jest klasy DPM ($p^{kpm}_n = 1$), to ranny R_j, którego przygotowano do ewakuacji skierowany zostanie:

1. Do szpitala segregacyjnego, gdy nie przeprowadzono w punkcie kwalifikowanej segregacji (tzn. $r^{rpom}_{j,l_p} = \emptyset$).
2. Do szpitala specjalistycznego (ewakuacja według wskazań) gdy otrzymał kwalifikowaną pomoc medyczną lub kwalifikowaną segregację (tzn. $r^{rpom}_{j,l_p} > \emptyset$).

Niech $\ddot{Z}_{mz} = \{1,2,\ldots,\ddot{Z}_{mz}\}$ będzie zbiorem numerów szpitali. Wybór szpitala dla rannego zależy od rodzaju zranienia. Uwzględnia się czynnik urazogenny, obszar anatomiczny, oraz stopień ciężkości. Przyjmuje się, że dla każdego rodzaju zranienia znane są wartości prawdopodobieństw rozkładu rannych na szpitale. Dla danego rodzaju zranienia określa się zbiór z wartościami prawdopodobieństw

$$\mathbb{P}WH_{<z_1,z_2,z_3>} = \left\{ PWH_z \in \mathcal{R}_{01} \; ; \; z \in \ddot{Z}_{mz} \right\} ,$$

gdzie:

$\mathbb{P}WH_{<z_1,z_2,z_3>}$ – zbiór z prawdopodobieństwami rozkładu rannych (o określonym zranieniu) na szpitale,

$\langle z_1, z_2, z_3 \rangle \in \ddot{Z}_1 \times \ddot{Z}_{2,z_1} \times \ddot{Z}_3$ – trójka opisująca zranienie,

PWH_z – prawdopodobieństwo wyboru z-tego ($z \in \ddot{Z}_{mz}$) szpitala dla rannego o opisie zranienia określonego trójką $\langle z_1, z_2, z_3 \rangle$.

Prawdopodobieństwa wyboru szpitala określa się na podstawie wskaźników procentowych zawartych w dokumencie S-04 – załączniku do rozprawy.

Oznaczając przez Z_{mz} dyskretną zmienną losową określającą numer wylosowanego szpitala (zbiorem zdarzeń elementarnych jest zbiór numerów szpitali $\ddot{Z}_{mz}$), to dystrybuantę zmiennej losowej Z_{mz} dla określonej trójki $\langle z_1, z_2, z_3 \rangle$ wyznacza się następująco:

$$F_{Z_{mz}}^{\langle z_1, z_2, z_3 \rangle}(z) = \sum_{z' \leq z} PWH_{z'}, \qquad ; \quad z', z \in \ddot{Z}_{mz} .$$

Wyboru szpitala dla rannego $R_j \in \mathbb{R}$ o opisie zranienia $r_j^{mr} = z_1$, $r_j^{om} = z_2$, $r_j^{sr} = z_3$ (przy czym $z_1 \in \ddot{Z}_1$, $z_2 \in \ddot{Z}_{2,z_1}$, $z_3 \in \ddot{Z}_3$) dokonuje się w sposób losowy stosując następującą formułę zdaniową:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{01}} \wedge \bigwedge_{PWH_{\langle z_1, z_2, z_3 \rangle} \in PWH} \bigvee_{z \in \ddot{Z}_{mz}} :$$

$$: F_{Z_{mz}}^{\langle z_1, z_2, z_3 \rangle}(z-1) \leq l^{rnd} < F_{Z_{mz}}^{\langle z_1, z_2, z_3 \rangle}(z) ,$$

przy czym:

$$\mathbb{PPWH} = \bigcup_{\langle z_1, z_2, z_3 \rangle \in \mathbb{Z}_1 \times \mathbb{Z}_{2,z_1} \times \mathbb{Z}_{3}} \mathbb{PPWH}^{\langle z_1, z_2, z_3 \rangle} .$$

Atrybut r_j^{prp} przyjmuje wartość będącą numerem wylosowanego szpitala. Zatem $r_j^{prp} = z$.

Ranny R_j opuszczając SZLE przechodzi w chwili $t + \tau^{zmdr}$ ze stanu "leczenie w punkcie" w stan "skierowany na leczenie do szpitala". A więc jeżeli

$$(r_j^{stan}(t+\tau^{zmdr}) = 1) \longrightarrow (r_j^{stan}(t+\tau^{zmdr}) = 5) .$$

3.3.4.3. Manewr punktem medycznym[4]

W trakcie prowadzenia działań bojowych podstawowym przedsięwzięciem, zapewniającym rannemu udzielenie we właściwym czasie pomocy medycznej, jest manewr punktami medycznymi. (Przyjmuje się, że manewr personelem służby zdrowia, transportem sanitarnym i zakresem pomocy medycznej przeprowadza się w modelu SZLE w chwili przygotowania punktu medycznego do pracy w rejonie rozwinięcia).

Manewr przesunięcia punktu medycznego do nowego rejonu przeprowadza się w formie "skoku" lub "przeskoku". Decyzję o zmianie miejsca działania, pracującego punktu medycznego $PM_n \in \mathbb{PM}$, klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$ ($p_n^{klpm} = l_p$), podejmuje się uwzględniając następujące wielkości:

– odległość punktu od przedniego skraju (czoła wojsk),

---

[4] Nie dotyczy drużyny sanitarnej pracującej w "ruchu". Podczas działań zaczepnych drużyna sanitarna (traktowana jako punkt medyczny) podąża za wojskami w normatywnej odległości od czoła wojsk.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Nr ewid.

- obłożenie punktu rannymi,
- średni czas otrzymania przez rannego pomocy w punkcie (w odniesieniu do czasu zranienia),
- procent rannych, którzy otrzymali w punkcie pomoc medyczną,
- czas pracy punktu.

Sugeruje się, aby w pierwszej kolejności przebazowywać te punkty medyczne, które pracują w warunkach uznanych za krytyczne. Punkt PM_n pracuje w warunkach krytycznych, jeżeli conajmniej jeden ze wskaźników uwzględnianych przy podejmowaniu decyzji o przebazowaniu punktu PM_n przekroczy wartość graniczną.

Punkt PM_n obsługujący obiekt $O_i \in \Phi$ w chwili $t \geq p_n^{to}$ znajduje się w odległości:

w - działaniach zaczepnych

$$d_n^{lm}(t) = o_i^{rub}(t) - p_n^{dr}(p_n^{to}) ,$$

w - działaniach obronnych

$$d_n^{lm}(t) = p_n^{dr}(p_n^{to}) - |o_i^{rub}(t)|,$$

od przedniego skraju obiektu O_i. Odległość punktu medycznego od przedniego skraju uważa się za krytyczną jeżeli :

- w działaniach obronnych ($o_i^{rub}(t) \leq 0$) spełniony jest warunek

$$d_n^{lm}(t) \leq p_n^{dlmin} ,$$

- w działaniach zaczepnych ($o_i^{rub}(t) \geq 0$) spełniony jest warunek

$$d_n^{lm}(t) \geq p_n^{dlmax} .$$

Niech w chwili t w punkcie przebywa l_n^{ran} rannych; przy czym

$$l_n^{ran} = \overline{\left\{ R_j \in \mathbb{R} : (r_j^{stan} = 1) \wedge (r_j^{prp} = n) \right\}} .$$

Punkt PM_n uważa się za nadmiernie obłożony rannymi jeżeli

$$l_n^{ran} \geq p_n^{obmax} \quad .$$

Niech liczba rannych, którzy otrzymali pomoc medyczną podczas pracy punktu w rejonie rozwinięcia do chwili t, będzie l_n^{rop}, a łączny czas otrzymania przez rannych pomocy (w odniesieniu do czasu zranienia) t_n^{top}. Średni czas otrzymania przez rannego pomocy w punkcie PM_n wynosi

$$t_n^{mup} = \frac{t_n^{top}}{l_n^{rop}} \quad .$$

Punkt pracuje "poprawnie" jeżeli

$$t_n^{mup} \leq p_n^{tupmax} \quad .$$

Wskaźnik procentowy rannych, którzy otrzymali pomoc wyznacza się następująco

$$l_n^{rup} = \frac{l_n^{rop}}{p_n^{lrp}} \cdot 100 \ [\%] \quad .$$

Czas pracy punktu w miejscu rozwinięcia wynosi

$$t_n^{prp} = t - p_n^{to} \quad .$$

Punkt medyczny PM_n pracuje (w miejscu rozwinięcia) zbyt długo jeżeli

$$t_n^{prp} \geq p_n^{tprmax} \quad .$$

Punktem medycznym PM_n, wyznaczonym (w chwili t) do zakończenia pracy w rejonie rozwinięcia, można dokonać manewru w formie:

1. **Przeskoku.**

Punkt PM_n przechodzi ze stanu "punkt pracuje" w stan

"przygotowanie punktu do zakończenia pracy i przejścia do odwodu szefa służby zdrowia". A zatem jeżeli

$$(p_n^{stan}(t) = 2) \Longrightarrow (p_n^{stan}(t) = 4) \quad .$$

Przygotowujący się do zakończenia pracy punkt PM_n zastąpiony zostaje przez punkt PM_{N+1} wprowadzony z odwodu szefa służby zdrowia. W chwili t wprowadzany PM_{N+1} osiąga gotowość do pracy w wyznaczonym rejonie.

Ranni ewakuowani do kończącego pracę punktu PM_n skierowani będą do rejonu rozwinięcia punktu PM_{N+1}.

2. Skoku.

Punkt PM_n przechodzi ze stanu "punkt pracuje" w stan "przygotowanie punktu do zakończenia pracy i przebazowania do nowego rejonu rozwinięcia". A zatem jeżeli

$$(p_n^{stan}(t) = 2) \Longrightarrow (p_n^{stan}(t) = 3) \quad .$$

Ranni, ewakuowani do kończącego pracę punktu PM_n, mogą na czas przebazowania punktu zostać skierowani do najbliższego równorzędnego punktu medycznego lub oczekiwać na osiągnięcie gotowości do pracy punktu PM_n w nowym rejonie rozwinięcia.

Punkt PM_n w chwili $t'' \geq t$ zakończy pracę w miejscu rozwinięcia, jeżeli ranni przygotowani do ewakuacji zostaną wyewakuowani z punktu. Jeżeli kończący pracę punkt jest klasy DPM i obsługuje obiekt prowadzący działania zaczepne, to ranni przebywający w punkcie po udzieleniu im pomocy medycznej mogą zostać przejęci przez grupy hospitalizacyjne. W chwili przejęcia rannego R_j przez grupę hospitalizacyjną, ranny kończy pobyt w punkcie. Czas pobytu rannego R_j w punkcie PM_n wynosi

$$r_j^{tpob} = t'' - (r_j^{tzr} + r_j^{tprz}).$$

W chwili t" - zakończenia pracy, punkt PM_n będący w stanie "przygotowanie punktu do zakończenia pracy i przejście do odwodu szefa służby zdrowia" przechodzi do odwodu. A zatem jeżeli

$$(p_n^{stan}(t") = 4) \longrightarrow (p_n^{stan}(t") = 5) \quad .$$

Natomiast PM_n kończąc pracę w stanie "przygotowanie punktu do zakończenia pracy i przebazowania do nowego rejonu rozwinięcia" przejdzie w stan "przebazowanie i odtwarzanie gotowości do pracy w nowym rejonie rozwinięcia". A zatem jeżeli

$$(p_n^{stan}(t") = 3) \longrightarrow (p_n^{stan}(t") = 6) \quad .$$

Czas przebazowania i odtwarzania gotowości punktu PM_n do pracy w nowym miejscu, losowany będzie z przedziału wartości

$$\tau^{przeb} \in [\ p_n^{tprzmin}\ ,\ p_n^{tprzmax}\ ] \quad .$$

Atrybut p_n^{tprz} (czas przebazowania i odtwarzania gotowości) przyjmie wartość $p_n^{tprz} = \tau^{przeb}$.

Liczba przebazowań punktu PM_n wynosi

$$p_n^{lprz}(t"+\tau^{przeb}) = p_n^{lprz}(t") + 1 \quad .$$

Po upływie czasu $t" + \tau^{przeb}$ punkt PM_n będzie gotowy do pracy w nowym rejonie działania.

Przeprowadzenie we właściwym czasie manewru punktami medycznymi jest szczególnie istotne podczas prowadzenia działań obronnych. Nieutrzymanie przez walczące obiekty bronionych rubieży może doprowadzić do gwałtownego załamania się obrony. W konsekwencji znacznemu skróceniu ulegnie odległość punktów medycznych od przedniego skraju. Przyjmuje się, że punkt medyczny PM_n obsługujący obiekt O_i zostanie w chwili t zajęty przez przeciwnika, jeżeli odległość punktu od przedniego skraju będzie $d_n^{lm}(t) = 0$. Punkt PM_n przejdzie

ze stanu "punkt pracuje" w stan "punkt zajęty przez przeciwnia". A zatem jeżeli

$$(p_n^{stan}(t) = 2) \longrightarrow (p_n^{stan}(t) = 7) \quad .$$

Ranny R_j przebywający w punkcie PM_n lub ewakuowany do niego zostaje wzięty do niewoli. A zatem jeżeli

$$(r_j^{stan}(t) \in \{1,2\}) \longrightarrow (r_j^{stan}(t) = 7) \quad .$$

Obiekt O_i obsługiwany przez (zajęty przez przeciwnika) punkt medyczny PM_n zostaje w chwili t wyłączony z walki. A zatem jeżeli

$$(o_i^{stan}(t) = 2) \longrightarrow (o_i^{stan}(t) = 3) \quad .$$

Ponadto wszystkie punkty medyczne podporządkowane punktowi PM_n (wyznaczone relacją $\Gamma_p(n)$) zostają zajęte przez przeciwnika. Ranni przebywający w punktach lub ewakuowani do nich zostają wzięci do niewoli. Obiekty podporządkowane obiektowi O_i (wyznaczone relacją $\Gamma_o(i)$) zostają wyłączone z walki.

3.3.5. Model podsystemu ewakuacji

W "systemie leczenia z ewakuacją na kierunku" podsystem ewakuacyjny zespala poszczególne etapy lecznicze (punkty medyczne) w jedną całość zapewniając dostarczenie rannych i chorych do określonego wymogami leczniczymi etapu ewakuacji medycznej. Podsystem ewakuacji stanowią etatowe oraz przydzielone środki transportu sanitarnego punktów medycznych. Są one elementami funkcjonalnymi podsystemu ewakuacji.

Podsystem ewakuacji można opisać dwójką

$$PSE = \langle \mathbb{ST}^*, \Gamma_T \rangle$$

gdzie:

$\mathbb{ST}^*$ - zbiór środków transportu sanitarnego, $\mathbb{ST}^* \in \check{\mathbb{E}}$,

$\Gamma_T \subseteq \mathbb{ST}^* \times \mathbb{ST}^*$ - relacja podporządkowania organizacyjnego środków transportu sanitarnego,

przy czym:

$\mathbb{ST}^* = \{ \mathbb{ST}_n : n \in \mathbb{N} \}$,

$\mathbb{ST}_n$ - zbiór środków transportu sanitarnego punktu PM_n,

$\mathbb{N}$ - zbiór numerów punktów medycznych,

Ponieważ środki transportu przyporządkowane są każdemu punktowi medycznemu to przyjmuje się, że $\Gamma_T \equiv \Gamma_p$.

Punkt medyczny PM_n posiada S_n^{etm} etatowych środków transportu sanitarnego (mogących należeć do różnych klas). Na czas pracy w rejonie rozwinięcia punktowi PM_n można przydzielić S_n^{ptm} środków transportu sanitarnego z odwodu szefa służby zdrowia. Zatem w czasie pracy w miejscu rozwinięcia punkt PM_n może dysponować S_n środkami transportu, przy czym

$$S_n = S_n^{etm} + S_n^{ptm} .$$

Zbiór środków transportu punktu medycznego PM_n określony jest następująco

$$\mathbb{ST}_n = \left\{ ST_m : s \in \mathbb{S}_n \right\} ,$$

gdzie:

ST_m - opis s-tego środka transportu punktu PM_n,

$\mathbb{S}_n^m = \{ 1,2,\ldots,S_n \}$ - zbiór numerów środków transportu sanitarnego punktu PM_n.

Środek transportu sanitarnego ST_m opisuje dziewiątka:

$$ST_m = \langle PT, st^{tzo}, st^{lr}, st^{km}, st^{to}, st^{tg}, st^{tz}, st^{tm}, st^{mtmn} \rangle .$$

Poszczególne elementy tej "dziewiątki" interpretowane są następująco:

PT – parametry s-tego środka transportu sanitarnego. Parametry można opisać siódemką:

$$PT = < st^{kl}, st^{lml}, st^{lms}, st^{v}, st^{wz}, st^{wa}, st^{tua} >$$

gdzie:

st^{kl} – numer klasy środka transportu ($st^{kl} \in \mathbb{L}_{ms}$),

st^{lml} – liczba miejsc dla rannych ewakuowanych w pozycji leżącej,

st^{lms} – liczba miejsc dla rannych ewakuowanych w pozycji siedzącej,

st^{v} – średnia prędkość jazdy środka transportu,

st^{wz} – współczynnik zapełnienia rannymi środka transportu,

st^{wa} – współczynnik awaryjności środka transportu,

st^{tua} – średni czas usunięcia awarii,

st^{tzo} – czas zajętości środka transportu (jazdą, awarią) lub czas oczekiwania (na rannych); jeżeli $st^{tzo} < 0$, to $|st^{tzo}|$ oznacza czas jazdy lub czas awarii środka transportu, $st^{tzo} \geq 0$ – oznacza czas oczekiwania środka transportu,

st^{lr} – łączna liczba rannych wyewakuowana środkiem transportu (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

st^{km} – łączna liczba kilometrów przejechanych przez środek transportu (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

st^{to} – sumaryczny czas oczekiwania na rannych (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

st^{tg} – łączny czas przebywania środka transportu w stanie gotowości do wyjazdu (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

st^{tz} – sumaryczny czas jazdy środka transportu (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

st^{ta} – łączny czas przebywania środka transportu w stanie awarii (do chwili $t \in \mathbb{T}$),

st^{stan} – wskaźnik stanu środka transportu; w dowolnej chwili $t \in \mathbb{T}$ wskaźnik ten może przyjmować wartości ze zbioru $\{ 1,2,3,4 \}$ o następującej inerpretacji:

$$st^{stan}(t) = \begin{cases} 1 - \text{wolny do dyspozycji,} \\ 2 - \text{zajęty,} \\ 3 - \text{awaria,} \\ 4 - \text{oczekuje na rannych.} \end{cases}$$

Dla wszystkich klas środków transportu sanitarnego określa się wartości parametrów: średnią prędkość jazdy, współczynnik zapełnienia rannymi, wpółczynnik awaryjności oraz średni czas usunięcia awarii.

Niech środek transportu $ST_m \in \mathbb{ST}$ obsługujący punkt medyczny PM_n będzie klasy $st_m^{kl} = l_{me}$ ($l_{me} \in \mathbb{L}_{me}$, $s \in \mathbb{S}_n$). Zatem:

1. Średnią prędkość jazdy środka transportu klasy l_{me} ustala się z przedziału wartości

$$st_m^{v} \in [\, v_{l_{me}}^{min} , v_{l_{me}}^{max} \,] ,$$

gdzie:

$v_{l_{me}}^{min} \in \mathcal{R}_+$ – minimalna prędkość jazdy środka transportu,

$v_{l_{me}}^{max} \in \mathcal{R}_+$ – maksymalna prędkość jazdy środka transportu.

2. Wartość współczynnika zapełnienia rannymi środka transportu ustala się z przedziału wartości

$$st_m^{wz} \in [\, wz_{l_{me}}^{min} , wz_{l_{me}}^{max} \,] ,$$

gdzie:

$wz_{l_{me}}^{min} \in \mathcal{R}_{<0,1>}$ – dolna wartość współczynnika zapełnienia środka transportu,

$wz^{max}_{l_{sr}} \in \mathcal{R}_{\oplus 1}$ – górna wartość współczynnika zapełnienia środka transportu.

Współczynnik zapełnienia środka transportu rannymi, w połączeniu z liczbą miejsc, określa minimalną liczbę rannych jaką musi przewozić środek transportu określonej klasy.

3. Wartość współczynnika awaryjności środka transportu (klasy l_{sr}) ustala się z przedziału wartości

$$st^{ww}_{sr} \in [\, wa^{min}_{l_{sr}}, wa^{max}_{l_{sr}} \,],$$

przy czym:

$wa^{min}_{l_{sr}} \in \mathcal{R}_{\oplus 1}$ – dolna wartość współczynnika awaryjności,

$wa^{max}_{l_{sr}} \in \mathcal{R}_{\oplus 1}$ – górna wartość współczynnika awaryjności.

4. Średni czas usunięcia awarii środka transportu może przyjmować wartości z przedziału

$$st^{tus}_{sr} \in [\, ta^{min}_{l_{sr}}, ta^{max}_{l_{sr}} \,],$$

gdzie:

$ta^{min}_{l_{sr}} \in \mathcal{C}_{+}$ – minimalny czas usunięcia awarii,

$ta^{max}_{l_{sr}} \in \mathcal{C}_{+}$ – maksymalny czas usunięcia awarii.

3.3.5.1. Funkcjonowanie podsystemu ewakuacji

Niech punkt medyczny $PM_{n'}$ będzie punktem nadrzędnym względem punktu medycznego PM_{n} ($n \in \mathbb{N}$). Przy czym

$$n' = \Gamma^{-1}_{p}(n) \quad .$$

Punkt PM_{n} obsługuje obiekt $O_{i} \in \Phi$, ($i \in \mathbb{I}$), a punkt

medyczny $PM_{n'}$ obsługuje obiekt $O_{i'} \in \Phi$, gdzie

$$i' = \Gamma_o^{-1}(i) \quad .$$

Niech w chwili t punkt PM_n znajduje się w odległości $d_n^{lm}(t)$ od przedniego skraju obiektu O_i, a punkt medyczny $PM_{n'}$ w odległości $d_{n'}^{lm}(t)$ (od przedniego skraju obiektu $O_{i'}$).

W działaniach obronnych ($o_i^{rub}(t) \leq 0$ oraz $o_{i'}^{rub} \leq 0$) odległość punktów medycznych od przedniego skraju określa się następująco:

$$d_n^{lm}(t) = p_n^{dr}(p_n^{to}) - |o_i^{rub}(t)| \quad ,$$

$$d_{n'}^{lm}(t) = p_{n'}^{dr}(p_{n'}^{to}) - |o_{i'}^{rub}(t)| \quad ;$$

zaś w działaniach zaczepnych ($o_i^{rub}(t) \geq 0$ i $o_{i'}^{rub}(t) \geq 0$):

$$d_n^{lm}(t) = o_i^{rub}(t) - p_n^{dr} \quad ,$$

$$d_{n'}^{lm}(t) = o_{i'}^{rub}(t) - p_{n'}^{dr} \quad .$$

Odległość w linii prostej pomiędzy punktami PM_n i $PM_{n'}$ w chwili t wynosi

$$d_{n',n}^{pp}(t) = d_{n'}^{lm}(t) - d_n^{lm}(t) \quad .$$

Obiekt $O_{i'}$ ($i' = \Gamma_o^{-1}(i)$) prowadzi działania bojowe w terenie klasy $o_{i'}^{ter} = l_z$ ($l_z \in \mathbb{L}_z$). Klasie terenu l_z przypisany jest przedział wartości współczynnika charakteryzującego teren (zbiór $\mathbb{KT}$). Współczynnik terenu (uwzględniający ukształtowanie terenu) modyfikuje odległość w linii prostej pomiędzy punktami medycznymi, przybliżając ją do odległości rzeczywistej. Dla obiektu $O_{i'}$, działającego w terenie klasy $l_z \in \mathbb{L}_z$, współczynnik terenu $w_{i'}^{ter}$ losowany jest według rozkładu równomiernego z przedziału wartości

$$w_{i'}^{ter} \in [\, kt_{l_z}^{min} \, , \, kt_{l_z}^{max} \,] \quad .$$

Rzeczywistą odległość pomiędzy punktami PM_n i $PM_{n'}$ określa się następująco

$$d^{rz}_{n,n'}(t) = d^{rz}_{n,n'}(t) = (1 + w^{ter}_{i})\cdot d^{PP}_{n,n'}(t) \quad .$$

W modelu SZLE ewakuację rannych i chorych przeprowadza się dwoma sposobami: "do siebie" oraz "od siebie". Przy sposobie ewakuacji "do siebie" wyższy szczebel służby zdrowia odpowiada za ewakuację rannych i chorych z etapów niższego szczebla. Ewakuację sposobem "od siebie" przeprowadza się transportem etapów niższego szczebla do etapów szczebla wyższego.

3.3.5.2. Ewakuacja rannych sposobem "do siebie"

Za organizację ewakuacji rannych i chorych z podległych punktów medycznych odpowiada punkt nadrzędny. Przy tym sposobie ewakuacji bardzo istotne jest kierowanie rozdziałem środków transportu sanitarnego.

Niech punktem medycznym organizującym ewakuację będzie $PM_{n'}$. Relacja $\Gamma_p(n')$ wyznacza zbiór numerów punktów medycznych podporządkowanych punktowi $PM_{n'}$. Niech w chwili t będzie wolny środek transportu ST_m ($s \in \mathbb{S}_n$). Decyzję o wysłaniu środka transportu z punktu PM_n do punktu medycznego PM_n (gdzie $n \in \Gamma_p(n')$) podejmuje się analizując potrzeby ewakuacyjne podległych punktów medycznych. Uwzględnia się:

- liczbę rannych oczekujących na ewakuację,
- średni priorytet obsługi rannych,
- średni czas oczekiwania rannych na ewakuację z punktu.

Niech w punkcie PM_n elementem ewakuacyjnym będzie E_m ($m \in \mathbb{M}_n$). Zbiór numerów rannych oczekujących w elemencie E_m na ewakuację określa się następująco:

$$\mathbb{J}^{ew}_{n} = \left\{ j \in \mathbb{J} : (r^{mtem}_{j}(t) = 8) \wedge (r^{nrpp}_{j} = n) \wedge (r^{nrem}_{j} = m) \right\} \quad .$$

W elemencie E_m w chwili t oczekuje na ewakuację l_n^{oew} rannych

$$l_n^{oew} = \overline{J_n^{ew}} \quad .$$

Dla rannych oczekujących na ewakuację średni priorytet obsługi spr_n oraz średni czas oczekiwania t_n^{sew} wyznacza się następująco:

$$spr_n = \frac{1}{l_n^{oew}} \cdot \sum_{j \in J_n^{ew}} r_j^{prio} \quad ,$$

$$t_n^{sew} = \frac{1}{l_n^{oew}} \cdot \sum_{j \in J_n^{ew}} r_j^{tzo} \quad .$$

Rozdział środków transportu punktu PM_n, może być przeprowadzany bez udziału decydenta. Wówczas za kryterium, według którego środek transportu ST_{ns} zostanie skierowany do punktu PM_n ($n \in \Gamma_p(n')$), przyjmuje się maksymalną wartość sumy priorytetów $W(n^*)$ obsługi rannych oczekujących na ewakuację w podległych punktach medycznych

$$W(n^*) = \max_{n \in \Gamma_p(n')} \left(\sum_{j \in J_n^{ew}} r_j^{prio} \right) \quad .$$

Środek transportu ST_{ns} ($s \in S_n$), będący do dyspozycji w punkcie PM_n, skierowany zostaje w chwili t do punktu medycznego PM_n. Oznacza to przejście środka transportu ST_{ns} ze stanu "wolny do dyspozycji w stan "zajęty". A zatem jeżeli

$$(st_{ns}^{stan}(t) = 1) \longrightarrow (st_{ns}^{stan}(t) = 2) \quad .$$

Środek transportu oczekiwał na wyjazd przez czas st_{ns}^{tzo}. Łączny czas przebywania środka transportu ST_{ns} w stanie gotowości do wyjazdu po rannych wynosi

$$st_{ns}^{tg}(t) = st_{ns}^{tg}(t - \Delta t) + st_{ns}^{tzo} \quad .$$

Czas jazdy środka transportu z punktu $PM_{n'}$ do punktu PM_n wyznacza zależność

$$\tau^{re}_{n',n} = \frac{d^{re}_{n',n}(t)}{st^{v}_{ss}} .$$

Atrybut czasu zajętości środka transportu dojazdem po rannych w chwili t przyjmie wartość

$$st^{tzo}_{ss} = \tau^{re}_{n',n} .$$

Po upływie czasu $t' = t + \tau_{n',n}$ środek transportu przybędzie do punktu PM_n i przejdzie ze stanu "zajęty" w stan "oczekiwanie na rannych". A zatem jeżeli

$$(st^{stan}_{ss}(t') = 2) \Longrightarrow (st^{stan}_{ss}(t') = 4) .$$

Łączny czas jazdy środka transportu ST_{ss} określa się następująco

$$st^{tz}_{ss}(t') = st^{tz}_{ss}(t) + \tau^{re}_{n',n} ,$$

przy czym do chwili t' przejechał on odległość

$$st^{km}_{ss}(t') = st^{km}_{ss}(t) + d^{re}_{n',n}(t) \quad \text{kilometrów.}$$

Niech w chwili $t'' \geq t'$ środek transportu ST_{ss} $(s \in \$_n)$ zostanie załadowany rannymi. W punkcie PM_n oczekiwał on na rannych przez czas

$$t'' - t' = st^{tzo}_{ss} .$$

Łączny czas oczekiwania na rannych środka tansportu ST_{ss} wyznacza się następująco

$$st^{to}_{ss}(t'') = st^{to}_{ss}(t') + st^{tzo}_{ss} ,$$

Środek transportu przejdzie w chwili t" ze stanu "oczekuje na rannych" w stan "zajęty". A zatem jeżeli

$$(st_{m}^{stan}(t") = 4) \longrightarrow (st_{m}^{stan}(t") = 2) \quad .$$

Czas bezawaryjnej jazdy z rannymi od punktu PM_{n} do punktu $PM_{n'}$ wyznacza zależność

$$\tau_{n,n'}^{re} = \frac{d_{n,n'}^{re}(t")}{st_{m}^{v}} , \qquad s \in \mathbb{S}_{n,n'} .$$

Atrybuty: st_{m}^{tzo} - czas zajętości środka transportu bezawaryjną jazdą, oraz r_{j}^{tzo} - czas zajętości rannego R_{j} ewakuacją przyjmą w chwili t" wartość:

$$st_{m}^{tzo} = -\tau_{n,n'}^{re} ,$$

$$r_{j}^{tzo} = -\tau_{n,n'}^{re} .$$

Po upływie czasu $t" + \tau_{n,n'}$, ewakuowani ranni przybędą do punktu $PM_{n'}$. W chwili przybycia, ranny R_{j} przechodzi ze stanu "ewakuowany" w stan "leczony w punkcie". A zatem jeżeli

$$(r_{j}^{stan}(t"+\tau_{n,n'}^{re}) = 2) \longrightarrow (r_{j}^{stan}(t"+\tau_{n,n'}^{re}) = 1) \quad .$$

Atrybut czas ewakuacji rannego R_{j} ($j \in \mathbb{J}_{n}^{ew}$) z punktu medycznego PM_{n} klasy p_{n}^{kpm} ($p_{n}^{kpm} = l_{p}$, $l_{p} \in \mathbb{L}_{p}$) do punktu nadrzędnego $PM_{n'}$, przyjmie wartość

$$r_{j,l_{p}}^{tew} = \tau_{n,n'}^{re} , \quad .$$

Środek transportu ST_{m} przejdzie ze stanu "zajęty" w stan "wolny do dyspozycji". A zatem jeżeli

$$(st_{m}^{stan}(t"+\tau_{n,n'}^{re}) = 2) \longrightarrow (st_{m}^{stan}(t"+\tau_{n,n'}^{re}) = 1) , \quad .$$

Środek transportu ST_s do chwili $t'' + \tau^{re}_{n,n}$, przejechał odległość

$$st^{km}_s(t''+\tau^{re}_{n,n},) = st^{km}_s(t'') + d^{re}_{n,n},(t'') \quad \text{kilometrów,}$$

przy czym łączny czas jazdy wynosi

$$st^{tz}_s(t''+\tau^{re}_{n,n},) = st^{tz}_s(t'') + \tau^{re}_{n,n}, \quad .$$

3.3.5.3. Ewakuacja rannych sposobem "od siebie"

Za organizację ewakuacji rannych i chorych do nadrzędnego punktu medycznego PM_n, odpowiada podległy punkt medyczny PM_n. Ewakuacja[5] prowadzona jest środkami transportu sanitarnego punktu PM_n. Niech punktem organizującym ewakuację będzie punkt PM_n ($n \neq 0$). Numerem punktu nadrzędnego, do którego będą kierowani ranni będzie $n' = \Gamma^{-1}_p(n)$.

Niech w chwili t w punkcie PM_n środek transportu ST_s (gdzie $s \in \$_n$) rozpocznie oczekiwanie na rannych, których ma ewakuować do punktu PM_n,. Oznaczając przez $t' \geq t$ chwilę zakończenia kompletowania rannych do ewakuacji środkiem transportu ST_s, to środek transportu oczekiwał na rannych przez czas

$$t' - t = st^{tzo}_s \quad .$$

---

[5] W działaniach zaczepnych drużyna sanitarna nie posiada organicznych środków transportu sanitarnego do ewakuacji rannych. Jeżeli przy sposobie ewakuacji "od siebie" nie przydzieli się jej środków transportu sanitarnego z odwodu szefa służby zdrowia to ranni będą zalegać w punktach zbiórki rannych.

Łączny czas oczekiwania na załadunek rannych wynosi

$$st_{s}^{to}(t') = st_{s}^{to}(t) + st_{s}^{tzo} \quad .$$

W chwili t' środek transportu jest gotowy do drogi i przechodzi ze stanu "oczekuje na rannych" w stan "zajęty". A zatem jeżeli

$$(st_{s}^{stan}(t') = 4) \longrightarrow (st_{s}^{stan}(t') = 2).$$

Czas (bezawaryjnej) jazdy środka transportu ST_s z rannymi z punktu PM_n do punktu $PM_{n'}$ określa się z zależności

$$\tau_{n,n'}^{re} = \frac{d_{n,n'}^{re}(t')}{st_{s}^{v}} \quad , \qquad s \in \$_n \quad .$$

Atrybuty: czas zajętości środka transportu oraz czas zajętości rannego R_j (ewakuowanego środkiem ST_s) przyjmują w chwili t' wartości:

$$st_{s}^{tzo} = -\tau_{n,n'}^{re} \quad ,$$

$$r_{j}^{tzo} = -\tau_{n,n'}^{re} \quad .$$

W chwili $t'' = t' + \tau_{n,n'}^{re}$, środek transportu ST_s dotrze z rannymi do punktu $PM_{n'}$. Czas ewakuacji rannego R_j środkiem transportu ST_s z punktu medycznego PM_n klasy p_n^{kpm} ($p_n^{kpm} = l_p$, $l_p \in \mathbb{L}_p$) wynosi

$$r_{j,l_p}^{tew} = \tau_{n,n'}^{re} \quad .$$

Po przybyciu do punktu $PM_{n'}$ ranny R_j przechodzi ze stanu "ewakuowany" w stan "leczony w punkcie". A zatem jeżeli

$$(r_{j}^{stan}(t'') = 2) \longrightarrow (r_{j}^{stan}(t'') = 1) \quad .$$

Do chwili czasu t" łączny czas jazdy środka transportu ST_s wynosi

$$st_s^{tz}(t") = st_s^{tz}(t') + \tau^{re}_{n,n'} ,$$

przy czym przejechał on

$$st_s^{km}(t") = st_s^{km}(t') + d^{re}_{n,n'}(t') \quad \text{kilometrów.}$$

Po wyniesieniu rannych w punkcie PM_n, środek transportu $ST_{n,s}$ wraca do punktu macierzystego PM_n. Czas powrotu wynosi

$$\tau^{re}_{n',n} = \frac{d^{re}_{n',n}(t")}{st^{v}_{s}} , \qquad s \in \$_n .$$

Po czasie $t" + \tau^{re}_{n',n}$ środek transportu powrócił do punktu PM_n przechodząc ze stanu "zajęty" w stan "oczekuje na rannych". A zatem jeżeli

$$(st_s^{stan}(t"+\tau^{re}_{n',n}) = 2) \longrightarrow (st_s^{stan}(t"+\tau^{re}_{n',n}) = 4) .$$

Do chwili czasu $t" + \tau^{re}_{n',n}$ łączny czas jazdy oraz przebyta droga wynoszą

$$st_s^{tz}(t"+\tau^{re}_{n',n}) = st_s^{tz}(t") + \tau^{re}_{n',n} ,$$

$$st_s^{km}(t"+\tau^{re}_{n',n}) = st_s^{km}(t") + d^{re}_{n,n'}(t") .$$

3.3.5.4. Wybór rannych do ewakuacji

Ranni przygotowani do ewakuacji oczekują na wyewakuowanie w elemencie E_m ($m \in \mathbb{M}_n$) punktu medycznego PM_n. Niech przy organizacji ewakuacji sposobem "do siebie", w punkcie

PM_n oczekuje na rannych środek transportu sanitarnego ST_{ss} ($s \in \$_n$,) klasy st^{kl}_{ss} ($st^{kl}_{ss} = l_{ss}, l_{ss} \in \mathbb{L}_{ss}$), skierowany z punktu nadrzędnego $PM_{n'}$ ($n' \in \Gamma^{-1}_p(n)$). Z oczekujących na ewakuację, uprawnionym do ewakuacji środkiem transportu ST_{ss} będzie każdy ranny, któremu podczas segregacji ewakuacyjnej określono klasę środka transportu, nie niższą niż klasa środka ST_{ss}. Zatem

$$r^{str}_j \geq st^{kl}_{ss} \quad .$$

Wśród uprawnionych do ewakuacji danym środkiem transportu sanitarnego, w pierwszej kolejności będą ewakuowani ranni o najwyższym priorytecie obsługi, a spośród rannych o takim samym priorytecie obsługi, ranni najdłużej oczekujący. Ranny R_j wybrany do ewakuacji w chwili t − wniesienia do środka transportu, przechodzi ze stanu "leczony w punkcie" w stan "ewakuowany". Zatem jeżeli

$$(r^{stan}_j(t) = 1) \longrightarrow (r^{stan}_j(t) = 2) \quad .$$

Ranny R_j ewakuowany będzie do elementu przyjmującego rannych punktu PM_n,. Atrybuty numer punktu i numer elementu punktu, do którego skierowany będzie ranny R_j przyjmują wartości:

$$r^{nrp}_j = \Gamma^{-1}_p(n) \quad ,$$

$$r^{nre}_j = 1 \quad .$$

Niech w chwili t w punkcie PM_n uprawnionych do ewakuacji środkiem transportu ST_{ss} będzie lr^{ew}_n rannych. Środek transportu będzie mógł wyruszyć z rannymi do punktu PM_n, jeżeli liczba rannych lr^{ew}_n nie jest mniejsza od minimalnej liczby rannych, których musi zabrać. Wymaga to spełnienia warunku

$$lr^{ew}_n \geq INT(st^{wz}_{ss} \cdot (st^{lml}_{ss} + st^{lmm}_{ss})) \quad .$$

Wymóg ten, podyktowany względami ekonomicznymi, jest istotny jeżeli środek transportu sanitarnego ST_m jest wielomiejscowy.

Jeżeli liczba rannych lr_n^{ew} jest wystarczająca do wyewakuowania ich środkiem transportu ST_m, to w chwili t zostaną oni wniesieni do środka transportu, zajmując zgodnie ze wskazaniami segregacji ewakuacyjnej miejsca leżące i siedzące.

Czas pobytu rannego R_j w punkcie medycznym PM_n klasy p_n^{kpm} ($p_n^{kpm} = l_p$, $l_p \in \mathbb{L}_p$) wynosi

$$r_{j,l_p}^{tpob} = t - (r_j^{tzr} + r_{j,l_p}^{tprz}) \quad .$$

Czas oczekiwania rannego R_j na ewakuację (od chwili zakończenia czynności przygotowawczych w elemencie E_m) wyniesie

$$r_{j,l_p}^{tocw} = r_j^{tzo} \quad .$$

Do chwili czasu t, środkiem transportu ST_m, ewakuowano łącznie st_m^{lr} rannych, gdzie

$$st_m^{lr}(t) = st_m^{lr}(t-\Delta t) + lr_n^{ew} \quad ,$$

przy czym liczba rannych ewakuowanych (w danym rejsie) spełnia warunek

$$lr_n^{ew} \leq (st_m^{lmi} + st_m^{lmm}) \quad .$$

3.3.5.5. Wykorzystanie środków transportu ogólnego do ewakuacji rannych

Do ewakuacji rannych i chorych oprócz transportu sanitarnego może być wykorzystywany transport ogólnego przeznaczenia. Należy przypuszczać, że przy dużym zapotrzebowaniu na dowóz środków materiałowych oraz amunicji będzie dostateczna liczba środków transportu, które można

wykorzystywać w drodze powrotnej do celów ewakuacyjnych. Przyjmuje się więc , że ranni będą ewakuowani transportem ogólnego przeznaczenia natychmiast po przygotowaniu ich do ewakuacji.

Niech $l_{mo} \in \mathbb{L}_{mo}$ będzie numerem klasy środków transportu ogólnego przeznaczenia. Ranny R_j gotowy do ewakuacji, może być ewakuowany transportem ogólnego przeznaczenia, jeżeli został uprawniony podczas segregacji ewakuacyjnej (spełniony jest warunek $r_j^{mtr} \geq l_{mo}$).

Przyjmuje się, że środki transportu ogólnego przeznaczenia poruszają się z prędkokością $V_{l_{mo}}$, wyznaczoną losowo, według rozkładu równomiernego, z przedziału wartości

$$V_{l_{mo}} \in [\, V_{l_{mo}}^{min} , V_{l_{mo}}^{max} \,] \quad .$$

Proces ewakuacji rannych i chorych, transportem ogólnego przeznaczenia, przebiega w taki sam sposób jak przy ewakuacji według uproszczonego wariantu pracy podsystemu ewakuacji.

3.3.5.6. Uproszczony wariant pracy podsystemu ewakuacji

W symulacyjnym badaniu funkcjonowania systemu SZLE może zaistnieć potrzeba badania zachowania się podsystemu leczniczego przy założeniu, że podsystem ewakuacji pracuje poprawnie i nie wprowadza opóźnień w procesie udzielania pomocy rannym i chorym. W takiej sytuacji wydaje się korzystnym (ze względów czasowych) uproszczenie funkcjonowania podsystemu ewakuacji.

W uproszczonym wariancie pracy podsystemu ewakuacji przyjmuje się, że środki transportu sanitarnego są tej samej klasy oraz jest ich wystarczająca ilość. W procesie ewakuacji nie uwzględnia się aspektów ekonomicznych wykorzystania środków transportu (środek transportu dowolnej klasy traktowany jest jako jednomiejscowy). Prędkość jazdy środka

transportu wyznacza się losowo z przedziału wartości dla danej klasy środka. Ranni nie czekają na ewakuację. Czas ewakuacji rannego zależy tylko od odległości pomiędzy punktami medycznymi oraz prędkości jazdy środka transportu.

Niech $l_{sw} \in \mathbb{L}_{sw}$ będzie ustalonym numerem klasy środków transportu do ewakuacji rannych i chorych. Ranny R_j gotowy w chwili t do ewakuacji z punktu medycznego PM_n ($n \neq 0$), klasy p_n^{kpm} ($p_n^{kpm} = l_p$, $l_p \in \mathbb{L}_p$), będzie ewakuowany do punktu medycznego $PM_{n'}$, ($n' = \Gamma_p^{-1}(n)$). Atrybuty numer punktu medycznego oraz numer elementu przyjmą wartość:

$$r_j^{nrp} = \Gamma_p^{-1}(n) \quad ,$$

$$r_j^{nre} = 1 \quad .$$

W chwili t ranny R_j przechodzi ze stanu "leczony w punkcie" w stan "ewakuowany". A zatem jeżeli

$$(r_j^{stan}(t) = 1) \longrightarrow (r_j^{stan}(t) = 2) \quad .$$

Przybędzie on do punktu medycznego $PM_{n'}$ po upływie czasu wyznaczonego przez zależność

$$\tau_{n,n'}^{re} = \frac{d_{n,n'}^{re}(t)}{v_{l_{sw}}} \quad .$$

Atrybuty r_j^{tzo} oraz r_{j,l_p}^{tew} (rannego R_j) przyjmują w chwili t wartości:

$$r_j^{tzo} = -\tau_{n,n'}^{re} \quad ,$$

$$r_{j,l_p}^{tew} = \tau_{n,n'}^{re} \quad .$$

Zgodnie z założeniem, że ranny R_j nie oczekuje w punkcie PM_n na ewakuację to

$$r_{j,l_p}^{toew} = 0 \quad .$$

W chwili $t' = t + \tau_{n,n'}$ ranny R_j przybędzie do punktu medycznego $PM_{n'}$, przechodząc ze stanu "ewakuowany" w stan "leczony w punkcie". A zatem jeżeli

$$(r_j^{stan}(t') = 2) \longrightarrow (r_j^{stan}(t') = 1) \quad .$$

3.3.5.7. Uszkodzenia środków transportu sanitarnego

W warunkach pokojowych przyjmuje się, że dobowy współczynnik strat eksploatacyjnych środków transportu sanitarnego stanowi 3% ogółu zasobów.

Podczas prowadzenia działań bojowych (im bliżej linii styczności walczących wojsk) warunki ekspoloatacyjne stają się trudniejsze i należy oczekiwać większych strat eksploatacyjnych w środkach transportu sanitarnego. Pododdziały służby zdrowia związku taktycznego dysponują niewielką liczbą środków transportu sanitarnego, zatem uszkodzenie nawet jednego może w znacznym stopniu zakłócić proces ewakuacji rannych i chorych.

W modelu SZLE każdą klasę środków transportu sanitarnego charakteryzuje się współczynnikiem awaryjności oraz średnim czasem usunięcia awarii. Przyjmuje się, że współczynnik awaryjności jest estymatorem prawdopodobieństwa uszkodzenia środka transportu w przedziale czasu Δt. Niech przy organizacji ewakuacji sposobem "do siebie", środek transportu ST_s ($s \in \mathbb{S}_n$) klasy st^{kl}_m, ewakuuje rannych z punktu medycznego PM_n do punktu medycznego $PM_{n'}$. Przy czym $n \neq 0$ oraz $n' = \Gamma_p^{-1}(n)$. Zakłada się, że środek transportu uległ awarii jeżeli uszkodzenie uniemożliwia jazdę. Przyjmuje się, że prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia, że w przedziale czasu Δt środek transportu podczas jazdy uległ uszkodzeniu jest $p = st^{ww}_m$. Niech Z_{ww} oznacza dyskretną zmienną losową przyjmującą wartości: 1 - jeżeli zaobserwo-

wano wystąpienie awarii środka transportu ; 0 - jeżeli nie zaobserwowano wystąpienia awarii. Funkcja masy prawdopodobieństwa przyjmuje postać:

$$P^{ww}(Z_{ww} = 1) = p \quad ,$$
$$P^{ww}(Z_{ww} = 0) = 1 - p \quad .$$

Dystrybuantę zmiennej losowej Z_{ww} określa się następująco:

$$F_{Z_{ww}}(z) = \sum_{z' \leq z} P^{ww}(z') \quad .$$

Wykorzystując dystrybuantę $F_{Z_{ww}}(z)$ oraz liczby wylosowane według rozkładu równomiernego ze zbioru $\mathcal{R}_{01}$, wyznacza się zdarzenie wystąpienia awarii środka transportu.

Niech zmienna losowa T^{uw} oznacza czas usunięcia awarii środka transportu ST_m. Przyjmuje się, że zmienna losowa ma rozkład wykładniczy. Dystrybuantę zmiennej losowej T^{uw} określa wzór

$$F_{T^{uw}}(t^{uw}) = 1 - e^{-\lambda \cdot t^{uw}} \qquad t^{uw} \geq 0 \quad ,$$

gdzie:

λ - parametr rozkładu wykładniczego

$$\lambda = \frac{1}{st^{t^{uw}}_{m}} \quad ,$$

$st^{t^{uw}}_{m}$ - średni czas usunięcia awarii dla środka ST_m.

Przekształcenie zmiennej losowej T^{uw} o rozkładzie wykładniczym w zmienną losową Ξ o rozkładzie równomiernym wykonuje się wykorzystując dystrybuantę $G_{\Xi}(\xi)$ - odwrotną do dystrybuanty $F_{T^{uw}}(t^{uw})$.

Wykorzystując twierdzenie o przekształceniu[6] dystry-

---

[6] Zmienna losowa x mająca dystrybuantę F(x) przekształca się

buanta $G_{\Xi}(\xi)$ będzie miała postać

$$G_{\Xi}(\xi) = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - \xi) \qquad 0 \leq \xi < 1.$$

Dyskretne wartości zmiennej losowej T^{um} wyznaczane są na podstawie zmiennej losowej Ξ o rozkładzie ciągłym i równomiernym za pomocą zasady [10]: jeżeli dla pojedynczej wartości ξ, $t^{um} = G_{\Xi}(\xi)$ dla wszystkich t^{um}, $t^{um}_{i} \leq t^{um} \leq t^{um}_{i+1}$ to podstaw $t^{um}_{i} = G_{\Xi}(\xi)$. Uwzględniając powyższą zasadę czas usunięcia awarii wyznacza się następująco:

$$\bigwedge_{l^{rnd} \in \mathcal{R}_{01}} : \quad t^{um} = \mathrm{INT}(-\frac{1}{\lambda} \ln(1 - l^{rnd})).$$

Niech w chwili t środek transportu ST_{m} wyruszy z rannymi w drogę. Odległość $d^{re}_{n,n'}(t)$ pomiędzy punktami PM_{n} oraz $PM_{n'}$ przebędzie w czasie $\tau^{re}_{n,n'}$. Niech awaria środka transportu wystąpi w chwili t' zawierającej się w przedziale

$$t \leq t' \leq t + \tau^{re}_{n,n'} .$$

Łączny czas jazdy środka transportu do chwili wystąpienia awarii wynosi

$$st^{tz}_{m}(t') = st^{tz}_{m}(t) + (t' - t) ,$$

przy czym $$(t' - t) = (\tau^{re}_{n,n'} - |st^{tzo}_{m}|) .$$

Środek transportu przejechał do chwili t' drogę

$$st^{km}_{m}(t') = st^{km}_{m}(t) + (t' - t) \cdot st^{v}_{m} .$$

---

w zmienną losową ρ o rozkładzie równomiernym za pomocą przekształcenia $\rho = F(x)$.

W chwili wystąpienia awarii środek transportu ST_m przejdzie ze stanu "zajęty" w stan "awaria". A zatem jeżeli

$$(st_m^{tan}(t') = 2) \longrightarrow (st_m^{tan}(t') = 3) \quad .$$

Awaria będzie usunięta po upływie czasu t^{um}, zatem artybut st_m^{tzo} przyjmie w chwili t' wartość $st_m^{tzo} = -t^{um}$.

Zakłada się, że po usunięciu awarii w chwili czasu $t' + t^{um}$ środek transportu będzie znajdował się w punkcie macierzystym PM_n, w stanie "wolny do dyspozycji". A zatem jeżeli

$$(st_m^{tan}(t'+t^{um}) = 3) \longrightarrow (st_m^{tan}(t'+t^{um}) = 1) \quad .$$

Łączny czas niesprawności środka transportu wynosi

$$st_m^{tm}(t'+t^{um}) = st_m^{tm}(t') + t^{um} \quad .$$

Jeżeli środek transportu uległ uszkodzeniu podczas ewakuacji rannych to przyjmuje się, że w chwili t' (wystąpienia awarii) z punktu PM_n, wyruszy po rannych zastępczy środek transportu. Przybędzie on do miejsca postoju uszkodzonego środka transportu po upływie czasu $|st_m^{tzo}|$. Zatem czas ewakuacji rannego R_j z punktu medycznego PM_n klasy p_n^{kpm} ($p_n^{kpm} = l_p$, $l_p \in \mathbb{L}_p$) do punktu medycznego $PM_{n'}$ wynosi

$$r_{j,l_p}^{tew} = \tau_{n,n'}^{rm} + |st_m^{tzo}| \quad .$$

Po upływie czasu $\tau_{n,n'}^{rm} + |st_m^{tzo}|$ ranni ewakuowani zastępczym środkiem transportu sanitarnego przybędą do punktu medycznego $PM_{n'}$.

3.3.6. Odwzorowanie upływu czasu

Model SZLE jest modelem systemu dynamicznego, w którym

fundamentalną sprawą jest upływ czasu. Upływ czasu jest niezależny i wszystkie zdarzenia występujące w modelu są przez czas porządkowane. Przyjmuje się, że zbiór $\mathbb{T}$ jest izomorficzny w odniesieniu do liczb całkowitych (dyskretna podstawa czasu) [66], [55 t. 1]. W przypadku dyskretnej podstawy czasu wykorzystuje się następujące właściwości liczb całkowitych:

1. Istnieje relacja "<" taka, że dla każdej pary t,t' zachodzi jeden z przypadków:
   - $t < t'$ (t występuje przed t'),
   - $t' < t$ (t występuje po t'),
   - $t = t'$.

2. Istnieje operacja "+" określona na zbiorze $\mathbb{T}$ taka, że:
   - dla każdej pary $t,t' \in \mathbb{T}$ istnieje element t" taki że: $t + t' = t' + t = t"$,
   - istnieje element $\emptyset \in \mathbb{T}$ taki, że $t + \emptyset = t$,
   - istnieje jednoznaczny element $-t$ taki, że:
     $$t + (-t) = \emptyset ,$$
   - operacja "+" jest operacją w odniesieniu, do której ma zastosowanie prawo łączności:
     $t + (t'+t") = (t+t') + t"$,
     dla wszystkich trójek $t,t',t" \in \mathbb{T}$.

3. Dodawanie zachowuje uporządkowanie. A zatem jeżeli
   $t < t' \longrightarrow t+t" < t'+t"$ dla każdego $t" \in \mathbb{T}$.

W modelu SZLE zbiór $\mathbb{T}$ jest zbiorem skończonym, ograniczonym z dołu przez T^P - czas (początkowy) rozpoczęcia działań bojowych, oraz z góry przez T^K - czas zakończenia obsługi rannych w SZLE.

Odwzorowanie upływu czasu rozpoczyna się w chwili T^P. W tej samej chwili atrybuty charakteryzujące działanie obiektów, punktów medycznych oraz środków transportu przyjmują wartości początkowe (równe zero).

Dyskretna podstawa czasu $\mathbb{T}$ składa się z K^* kwantów czasu o długości Δt. Długość kwantu czasu Δt wynika z dokładności z jaką określa się wszystkie normatywne przedziały czasu, będące parametrami charakteryzującymi model SZLE.

Dowolną chwilę $t \in \mathbb{T}$ określa się następująco

$$t = T^{P} + k^{*} \cdot \Delta t \quad ,$$

gdzie:

$k^{*} \in \mathbb{K}^{*}$ - numer kwantu czasu,

$\mathbb{K}^{*} = \{ 1,2,\ldots,K^{*} \}$ - zbiór numerów kwantów czasu.

W momencie aktualizacji wartości czasu symulacyjnego (zegar główny modelu), aktualizowane są wartości atrybutów (zegary lokalne) wskazujące upływ czasu:

- dla każdego rannego przebywającego w SZLE,
- dla wszystkich stanowisk obsługi elementów punktów medycznych,
- dla wszystkich środków transportu sanitarnego.

A zatem:

$$\bigwedge_{j \in \mathbb{J}} \; r_{j}^{tzo}(t) = r_{j}^{tzo}(t-\Delta t) + \Delta t \; ;$$

$$\bigwedge_{n \in \mathbb{N}} \bigwedge_{m \in \mathbb{M}_{n}} \bigwedge_{c \in \mathbb{C}_{m}} so_{c}^{tzo}(t) = so_{c}^{tzo}(t-\Delta t) + \Delta t;$$

$$\bigwedge_{n \in \mathbb{N}} \bigwedge_{s \in \mathbb{S}_{n}} st_{s}(t) = st_{s}(t-\Delta t) + \Delta t \; .$$

4. IMPLEMENTACJA KOMPUTEROWA MODELU SZLE

Podstawowym warunkiem osiągnięcia zadowalających rezultatów w stosowaniu symulacji komputerowej jest wybór właściwej metody organizacji modelu oraz efektywne przekształcenie modelu abstrakcyjnego w program komputerowy.

Model SZLE zorganizowany został według metody stałego kroku. Jako kryterium do wyboru metody modelowania przyjęto liczbę zdarzeń występujących w systemie (bezpośrednio zależnych od czasu) oraz częstość ich występowania. Zdarzenia bezpośrednio związane z czasem można podzielić na trzy grupy dotyczące: rannych, stanowisk obsługi elementów punktów medycznych oraz środków transportu sanitarnego. Zakładając, że w systemie SZLE może przebywać w tym samym czasie do kilkuset rannych, zdarzenia będą występowały w małych odstępach czasu (bardzo często). Przyjmując metodę stałego kroku, unika się czasochłonnego szeregowania zdarzeń w kalendarzu zdarzeń. Wartości parametrów czasowych charakteryzujących SZLE określane są z dokładnością do minuty i zawierają się w przedziale od kilku do kilkudziesięciu minut. Uwzględniając w metodzie stałego kroku wpływ wielkości przyrostu czasu na wyniki przyjęto, że wielkością przyrostu czasu symulacyjnego będzie 1 minuta.

Efektywne oprogramowanie modelu w dużej mierze zależy od zastosowanej technologii projektowania programów oraz wyboru odpowiedniego języka programowania. Komputerowy model symulacyjny SZLE jest konstrukcją zaprojektowaną techniką programowania strukturalnego. Technika ta w rygorystyczny sposób narzuca organizację procesu projektowania (projektowanie zstępujące oraz modułowe). Wymagany podział programu na logicznie spójne części czyni go łatwiejszym do analizy i w znacznym stopniu pozwala na eliminację błędów logicznych już w fazie projektowania. Ogólna struktura blokowa komputerowego modelu SZLE przedstawiona jest na rysunku 4.1.. Każdy blok realizuje określone zadania, składające się z modułów logicznych.

Blok wprowadzania danych umożliwia osobie przeprowadzającej eksperyment wprowadzanie danych w formie dialogowej.

Blok zadań korzystając z danych wejściowych oraz informacji zawartych w bazie danych, generuje model struktury SZLE i strumień rannych; odwzorowuje funkcjonowanie podsystemu leczniczego i ewakuacji.

Blok sterowania realizuje następujące zadania:

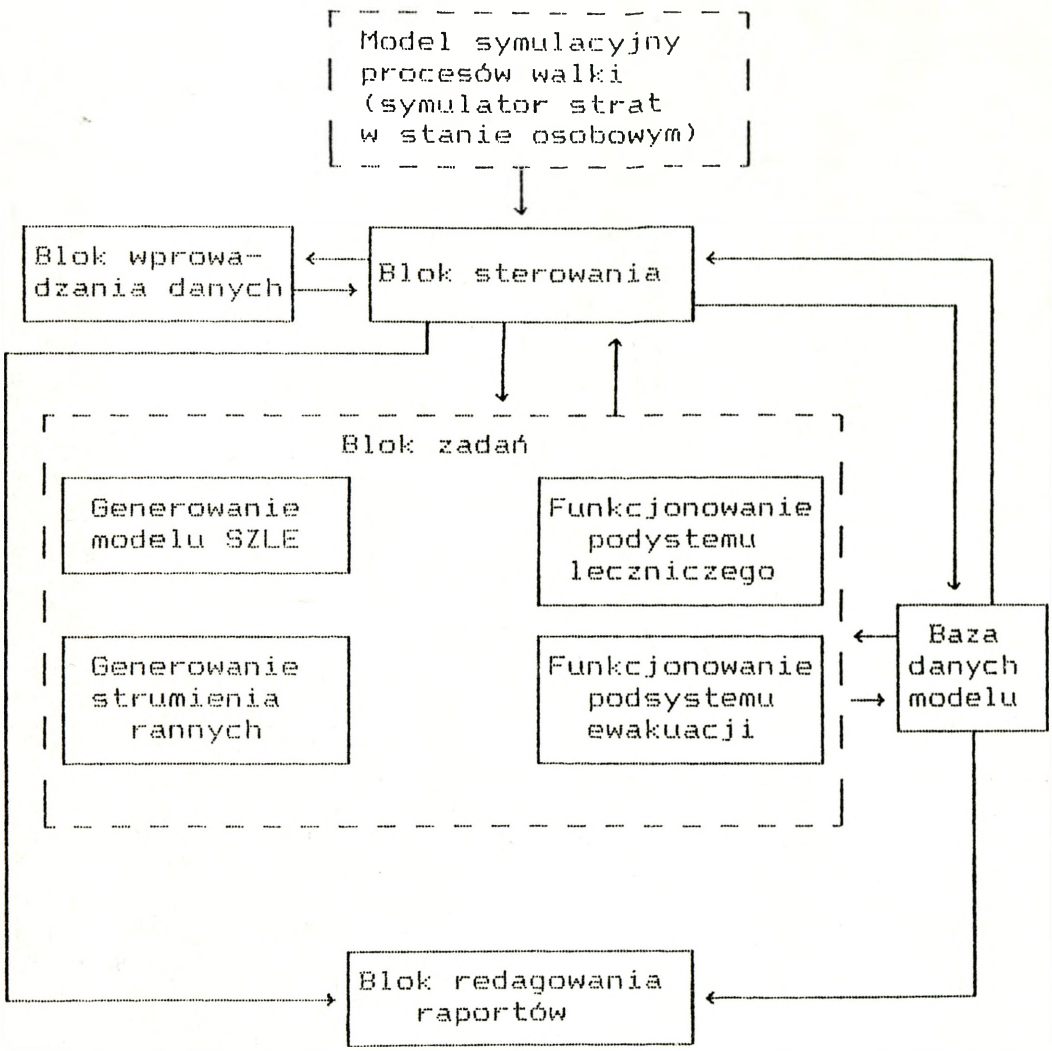
- odmierza czas systemowy,
- obsługuje wszystkie zdarzenia,
- koordynuje współpracę poszczególnych bloków z bazą danych.

Funkcjonowanie modelu (ogólny schemat funkcjonowania modelu przedstawiony jest na rysunku 4.2.) nie wymaga wykonywania skomplikowanych obliczeń numerycznych, wiąże się natomiast z częstym przetwarzaniem dużej liczby danych stanowiących atrybuty obiektów oraz parametry modelu. Wszystkie dane, parametry oraz atrybuty obiektów przechowywane są w bazie danych modelu. Takie podejście zapewnia niezależność oprogramowania od danych. Ponadto przechowywanie parametrów w bazie danych umożliwia łatwą ich modyfikację przy pomocy standardowych pakietów obsługi baz danych (np. DBASE III).

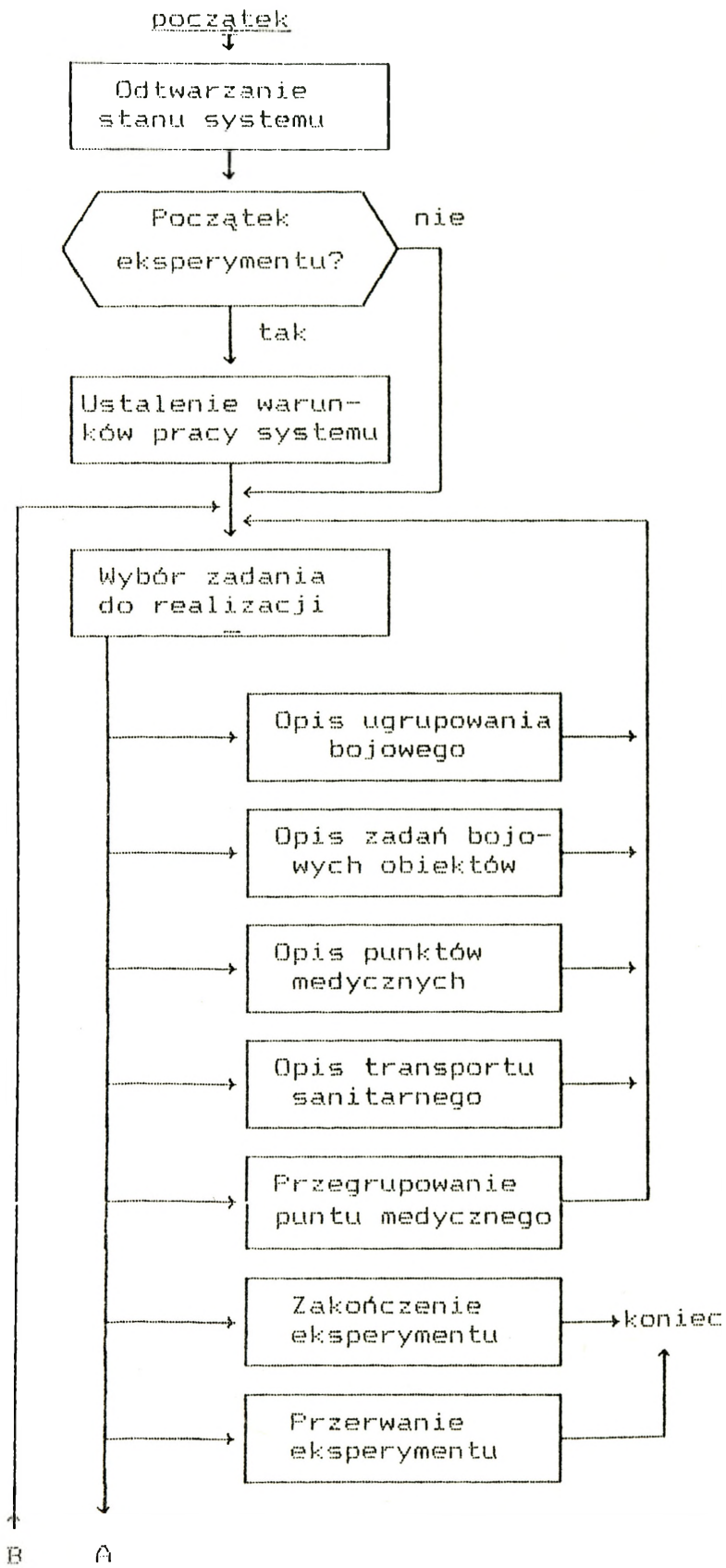
Problem przetwarzania dużej liczby danych, które są przechowywane w bazie danych, skłania do implementacji modelu symulacyjnego w języku programowania[1] dysponującym mechanizmami współpracy z bazą danych. Dlatego do oprogramowania modelu symulacyjnego SZLE wykorzystano pakiet oprogramowania CLIPPER SUMMER 87' uzupełniony funkcjami generowania liczb losowych.

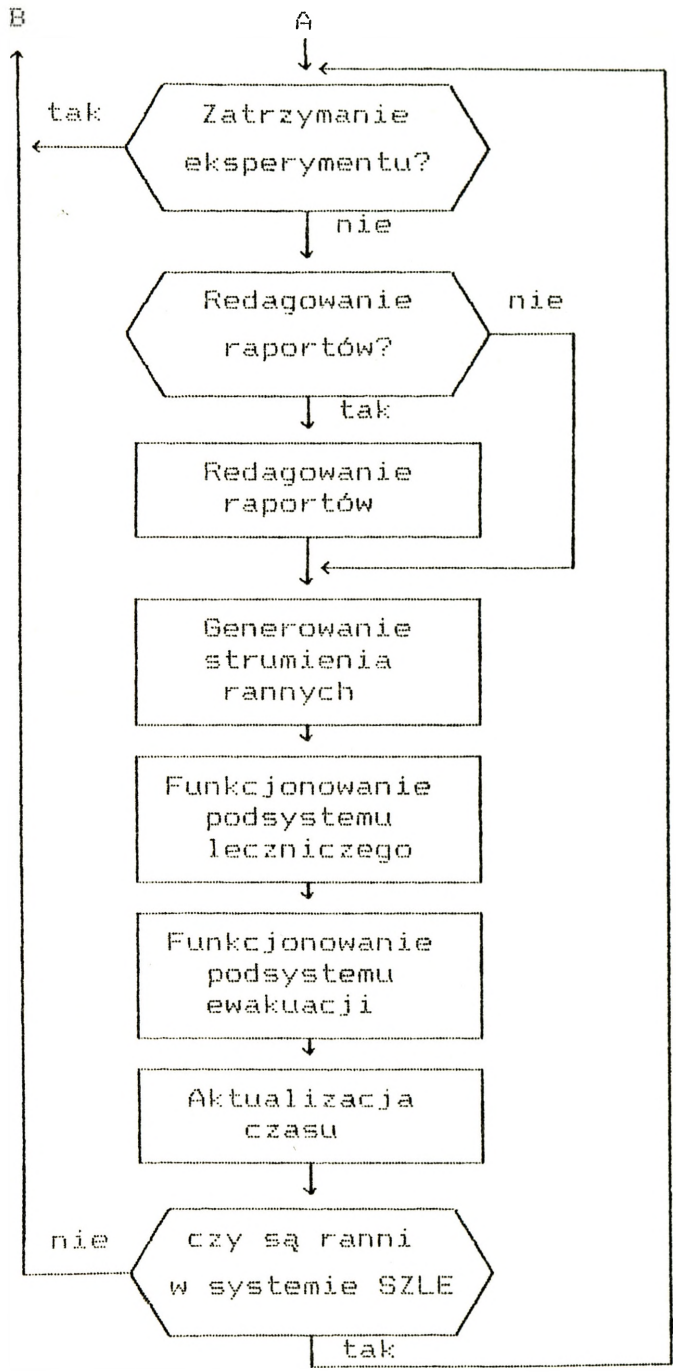
---

[1] W literaturze do programowania modeli symulacyjnych zaleca się stosować specjalizowane języki programowania. Atrakcyjność tych języków znacznie obniża fakt, że nie zawsze są one dostępne, często posiadają niepełną dokumentację, a ich implementacja może być niestandardowa.



Rys. 4.1. Struktura blokowa modelu SZLE.


początek
Odtwarzanie stanu systemu
Początek eksperymentu?
nie
tak
Ustalenie warunków pracy systemu
Wybór zadania do realizacji
Opis ugrupowania bojowego
Opis zadań bojowych obiektów
Opis punktów medycznych
Opis transportu sanitarnego
Przegrupowanie puntu medycznego
Zakończenie eksperymentu
koniec
Przerwanie eksperymentu
B
A



Rys. 4.2. Ogólny algorytm funkcjonowania komputerowego modelu SZLE.

4.1. Współpraca użytkownia z modelem

Komputerowy model symulacyjny SZLE stanowi pakiet programowy MEDSYM składający się z oprogramowania oraz bazy danych modelu. Model zaprojektowany został na mikrokomputery klasy IBM PC. Współpraca użytkownika z systemem MEDSYM odbywa się w trybie konwersacyjnym. Czynności jakie może użytkownik wykonywać na danym etapie realizacji eksperymentu symulacyjnego określane są przez system, w formie zestawu propozycji. Dane wprowadzane przez użytkownika zostały pod względem ilości ograniczone do niezbędnego minimum[2]. Ich wprowadzanie polega na wyborze z dopuszczalnego zestawu wartości proponowanego przez system. Zakres wartości danych numerycznych jest również kontrolowany. Pozwala to na całkowitą eliminację błędów związanych z danymi.

Istotnym elementem charakteryzującym współpracę użytkownika z systemem MEDSYM jest rozplanowanie informacji na ekranie. Format ekranu przedstawia rysunek 4.3..

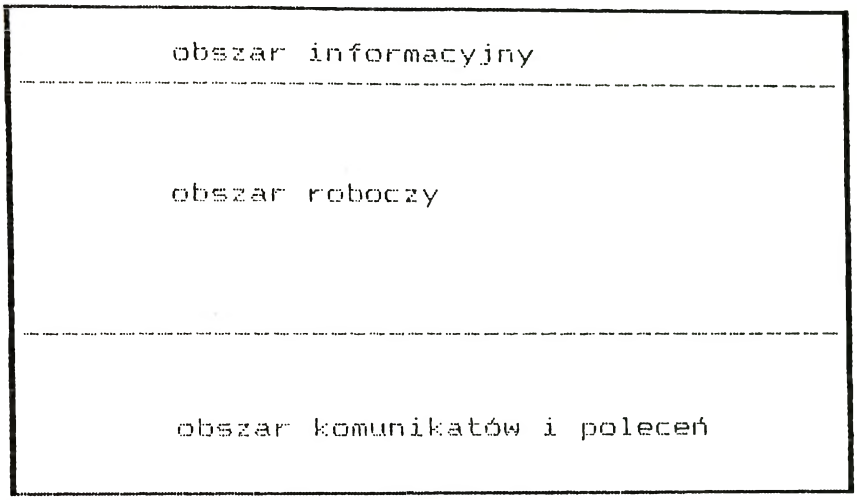
W obszarze informacyjnym wyświetlana jest nazwa aktualnie wykonywanego zadania oraz data i czas symulacyjny.

Obszar roboczy przeznaczony jest do wprowadzania danych oraz wyświetlania wyników (wyniki w formie dokumentów mogą być równolegle wyprowadzane na drukarkę).

W obszarze komunikatów i poleceń system przekazuje użytkownikowi informacje o nieprawidłowościach funkcjonowania. Ponadto w obszarze tym wyświetlany jest opis klawiszy funkcyjnych.

---

[2] Wszystkie parametry, rozkłady prawdopodobieństw, struktury oraz charakterystyki punktów medycznych są wprowadzane do bazy danych systemu w fazie jego instalowania.



Rys. 4.3. Format ekranu.

W udostępnionym użytkownikowi zestawie propozycji (menu), jakie system w danej chwili może wykonać, najbardziej prawdopodobne do wykonania są podświetlane białym lub czerwonym tłem. Wśród informacji pojawiających się na ekranie monitora, te które wymagają szczególnej uwagi użytkownika wyświetlane są ze wzmocnioną intensywnością.

Przystępując do przeprowadzania eksperymentu symulacyjnego według wcześniej przygotowanego scenariusza eksperymentu należy:

- ustalić warunki pracy systemu MEDSYM,
- wprowadzić dane,
- kontrolować przebieg eksperymentu.

Scenariusz eksperymentu symulacyjnego (plan eksperymentu) przygotowywany jest na podstawie planu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych oraz dokumentów i meldunków bojowych.

4.2. Ustalanie warunków początkowych pracy systemu

Przygotowanie systemu MEDSYM do przeprowadzenia eksperymentu poprzedza ustalenie warunków początkowych pracy systemu. System pracuje według ustalonego reżimu tylko przez

okres trwania eksperymentu. Jeżeli użytkownik zrezygnuje z ustalania warunków początkowych to system przyjmie warunki standardowe.

Określając warunki początkowe pracy systemu użytkownik ma możliwość ustalić:

- sposób wprowadzania strat bojowych,
- czas rozpoczęcia działań bojowych,
- priorytet udzielania pomocy rannym,
- sposób funkcjonowania podsystemu ewakuacji,
- czynniki stanowiące kryteria do sygnalizacji sytuacji ekstremalnych w pracy SZLE.

Ponadto w ramach ustalania warunków początkowych można modyfikować charakterystyki probabilistyczne.

Sposób wprowadzania strat. Straty ogólne stanu osobowego oraz tempo działań obiektów mogą być zadawane arbitralnie przez operatora (opcja OPERATOR) bądź generowane przez system MEDSYM (opcja SYSTEM) lub model symulacyjny procesów walki.

Czas rozpoczęcia działań bojowych. System proponuje aktualny czas astronomiczny. Użytkownik może ustalić inną wartość (związać czas symulacyjny z czasem operacyjnym) wprowadzając datę, godzinę oraz minutę rozpoczęcia działań bojowych. Po ustaleniu czasu system pyta o kryptonim eksperymentu (ćwiczenia). Kryptonim wykorzystywany jest jako identyfikator dokumentów wynikowych redagowanych przez system.

Priorytet udzielania pomocy rannym. Ustalając priorytet udzielania pomocy rannym uzależnia się kolejność obsługi rannych w SZLE od czynnika urazogennego (przyczyny zranienia) oraz stopnia ciężkości zranienia. Każdemu czynnikowi urazogennemu tj. broni konwencjonalnej, atomowej, biologicznej, chemicznej oraz zachorowaniom i zaburzeniom psychicznym użytkownik przypisuje wagę punktową w skali od 0 do 5. Ponadto użytkownik każdemu stopniowi ciężkości zranienia (ciężki, średni, lekki) przypisuje wagę punktową w skali od 0 do 2.

Godziny składania meldunków. Meldunki o pracy SZLE system może redagować co godzinę. Jeżeli nie zachodzi potrzeba tak częstego redagowania meldunków użytkownik może ustalić dla każdej klasy punktów medycznych godziny redagowania meldunków o ich funkcjonowaniu.

Sposób funkcjonowania podsystemu ewakuacji. Jeżeli użytkownika nie interesuje wpływ pracy podsystemu ewakuacji na funkcjonowanie SZLE, to może on wybrać uproszczony wariant pracy podsystemu ewakuacji. W uproszczonym wariancie pracy podsystem ewakuacji funkcjonuje bez zakłóceń, a czas ewakuacji rannych jest proporcjonalny do ramienia ewakuacji. Jeżeli użytkownik będzie zainteresowany pracą podsystemu ewakuacji, to system MEDSYM proponuje ustalić średnią prędkość jazdy dla każdej klasy środków transportu sanitarnego. Ponadto ustala się:

- czy do ewakuacji rannych będą wykorzystywane środki transportu ogólnego przeznaczenia,
- sposób organizacji ewakuacji ("na siebie" lub "od siebie").

Wybór kryteriów do sygnalizacji sytuacji ekstremalnych. System MEDSYM może na żądanie sygnalizować sytuacje krytyczne w funkcjonowaniu SZLE. System może kontrolować:

- długość ramienia ewakuacji,
- obłożenie rannymi punktów medycznych,
- czas otrzymania przez rannych pomocy,
- czas pracy punktów medycznych.

Po wyborze przez użytkownika interesujących go kryteriów, określa się co ile minut system ma sprawdzać czy w pracy SZLE występują sytuacje ekstremalne.

Modyfikacja charakterystyk probabilistycznych. Prawdopodobieństwa rozkładów są określane przedziałami wartości. Z tych przedziałów generuje się wartości prawdopodobieństw rozkładów, z których system MEDSYM tworzy dystrybuanty. Użytkownik drogą wyboru ma możliwość wskazać, które rozkłady prawdopodobieństw mają być generowane, a następnie tworzone dystrybuanty. System MEDSYM na żądanie użytkownika może generować nowe wartości prawdopodobieństw

rozkładów :

- strat ogólnych na bezpowrotne i sanitarne,
- strat sanitarnych na czynniki urazogenne,
- zranień na obszary anatomiczne, stopień ciężkości oraz profil,
- rannych na szpitale,
- wyboru następnego elementu punktu medycznego do obsługi rannego.

Jeżeli w bazie danych zmodyfikowano (parametry) przedziały wartości prawdopodobieństw, to przed tworzeniem dystrybuant system pyta czy ma sprawdzać poprawność wartości prawdopodobieństw rozkładów.

4.3. Sterowanie przebiegiem eksperymentu symulacyjnego

Po ustaleniu warunków pracy system MEDSYM udostępnia użytkownikowi zestaw propozycji (menu główne), umożliwiających sterowanie przebiegiem eksperymentu oraz wprowadzanie danych. Proponowany użytkownikowi zestaw propozycji jest rozszerzany w miarę zaawansowania przebiegu eksperymentu. Pełny zestaw propozycji obejmuje następujące opcje:

1. Zakończenie eksperymentu.
2. Przerwanie eksperymentu.
3. Opis ugrupowania bojowego.
4. Opis zadań bojowych obiektów.
5. Opis punktów medycznych.
6. Opis transportu sanitarnego.
7. Realizacja eksperymentu.
8. Przegrupowanie punktów medycznych.

Wśród udostępnionego (na ekranie) zestawu propozycji białym znacznikiem zaznaczana jest ta, która była ostatnio przez system wykonywana. Opcja najbardziej prawdopodobna do wykonania lub taka, która musi być wykonana jest podświetlana białym lub czerwonym tłem. Zawsze dostępne są opcje (1 i 2) kończące pracę systemu.

Zakończenie eksperymentu. Eksperyment zostaje przerwany bez możliwości jego kontynuacji. Po ponownym uruchomieniu system MEDSYM zgłasza się z propozycją ustalenia warunków początkowych.

Przerwanie eksperymentu. Eksperyment zostaje przerwany z możliwością jego kontynuacji (stan systemu zostaje zapamiętany).

4.3.1. Wprowadzanie danych

Wprowadzanie danych opisujących badany SZLE umożliwiają (w początkowej fazie eksperymentu tzn. przed rozpoczęciem odliczania czasu) opcje 3, 4, 5, 6. Pierwszą dostępną opcją jest opcja 3. Po jej wykonaniu udostępniane są kolejno następne.

Opis ugrupowania bojowego. Opis ugrupowania bojowego ograniczony został do zdefiniowania struktury organizacyjnej wojsk w rozpatrywanym pasie działania. Strukturę organizacyjną definiuje się iteracyjnie rozpoczynając od obiektu będącego jej wierzchołkiem. Obiekt stanowiący wierzchołek struktury może być związkiem taktycznym, oddziałem lub pododdziałem. Etatowe struktury organizacyjne związków taktycznych, oddziałów i pododdziałów opisane są w bazie danych systemu. Wyboru obiektów będących bezpośrednio podporządkowanymi wcześniej zdefiniowanemu obiektowi nadrzędnemu użytkownik dokonuje z zestawu proponowanego przez system. System nie narzuca ograniczeń w ilości obiektów bezpośrednio podporządkowanych.

Obiekt definiuje się podając jego nazwę. Nazwa składa się z trzech elementów:

- numeru identyfikacyjnego,
- skrótu taktycznego,
- nazwy własnej.

Numer identyfikacyjny (rzeczywisty lub ćwiczebny) oraz nazwę własną obiektu określa użytkownik w sposób dowolny.

Skrót taktyczny jest wybierany z proponowanego przez

system zestawu.

Definiowanie obiektów bezpośrednio podporządkowanych jest zakończone, gdy nie wypełni się pola "numer identyfikacyjny obiektu". Po zakończeniu opisu ugrupowania bojowego opcja ta jest dostępna dla użytkownika w wersji rozszerzonej. Umożliwia wtedy modyfikację sił w pasie działania tj.:

- wprowadzanie do walki (obiektu),
- wycofanie z walki (obiektu),
- przegląd struktury (organizacyjnej obiektów),
- rezygnacja z modyfikacji.

Wprowadzanie do walki. Umożliwia wprowadzenie do struktury wybranego obiektu nowego obiektu. Z udostępnionego przez system zestawu obiektów użytkownik wybiera obiekt, na którego kierunku działania będą wprowadzane nowe siły (dodatkowe obiekty). Definiowanie nowych obiektów odbywa się według wcześniej opisanych zasad.

Wycofanie z walki. System udostępnia nazwy obiektów, z których drogą wyboru użytkownik wskazuje obiekt do wycofania z walki. Wraz z wybranym do wycofania z walki obiektem wycofywane są wszystkie obiekty bezpośrednio i pośrednio mu podporządkowane.

Przegląd struktury. Wyświetlane są kolejno nazwy wszystkich obiektów wraz z obiektami bezpośrednio im podporządkowanymi.

Rezygnacja z modyfikacji. Opcja pozwala powrócić do głównego zestawu propozycji.

Opis zadań bojowych obiektów. W opcji tej opisuje się sytuację bojową każdego obiektu zdefiniowanego w opcji 3. W opisie sytuacji bojowej określa się:

- stopień ukompletowania ludzi (w procentach) danego obiektu w odniesieniu do stanu etatowego;
- datę rozpoczęcia działań bojowych w postaci: D + d, gdzie:
  - D - data ustalona w warunkach początkowych,
  - d - numer doby w stosunku do D, w której obiekt rozpocznie walkę;

- czas (godzinę oraz minutę) rozpoczęcia przez obiekt walki;
- rodzaj broni jaką będzie oddziaływał na obiekt przeciwnik w pierwszej godzinie walki; rodzaje broni użytkownik wybiera z proponowanego zestawu:
  (konwencjonalna, atomowa, biologiczna, chemiczna);
- rodzaj walki - z proponowanego zestawu:
  (obrona, natarcie);
- charakterystykę terenu; teren użytkownik może określić jako:
  (niekorzystny, mało korzystny, korzystny, bardzo korzystny).

Opis punktów medycznych. W opcji tej przypisuje się każdemu obiektowi (zdefiniowanemu w opcji 3) punkt medyczny. Określa się:

- stan sanitarno-epidemiczny obiektu jako:
  (pomyślny, niepewny, niepomyślny, nadzwyczajny);
- nazwę punktu medycznego, który będzie obsługiwał dany obiekt; tę nazwę użytkownik może określić bądź przyjąć proponowaną przez system; nazwa proponowana przez system jest dwuczłonowa i składa się ze skrótu klasy punktu medycznego oraz nazwy obiektu;
- typ etapu; użytkownik wybiera z proponowanego zestawu wariant struktury punktu medycznego uprawnionego do obsługi danego obiektu;
- zakres pomocy medycznej - ustalany jest drogą wyboru z proponowanego zestawu:
  (pełny, ograniczony, obniżony) lub
  (pełny, obniżony);
- wzmocnienie punktu medycznego personelem lub sprzętem medycznym (polega na przydziale dodatkowych stanowisk obsługi). Jeżeli użytkownik podejmie decyzję o wzmocnieniu punktu medycznego, to system przegląda kolejno wszystkie elementy punktu informując o etatowej liczbie stanowisk obsługi każdego elementu. Użytkownik decyduje, którym elementom zostaną przydzielone dodatkowe stanowiska obsługi i w jakiej liczbie. Ustalony

przydział obowiązuje przez czas pracy punktu w miejscu rozwinięcia.

Opis transportu sanitarnego. W zależności od przyjętego sposobu organizacji ewakuacji użytkownik ma możliwość przydzielenia punktom medycznym dodatkowego transportu sanitarnego. System kolejno przeglądając punkty medyczne pyta czy danemu punktowi będzie przydzielany transport sanitarny. Jeżeli użytkownik podjął decyzję o przydziale, to system proponuje wybór klasy środka transportu z dostępnego zestawu. Następnie użytkownik określa liczbę środków transportu danej klasy, jaką przydzieli punktowi medycznemu. Ponadto przy sposobie organizacji ewakuacji "na siebie" transport sanitarny każdego nadrzędnego punktu medycznego wstępnie jest przez użytkownika rozdzielany podporządkowanym bezpośrednio punktom medycznym.

Realizacja eksperymentu. Przejście systemu MEDSYM do realizacji eksperymentu wiąże się z odmierzaniem upływu czasu symulacyjnego oraz rejestrowaniem historii stanów.
W trakcie realizacji eksperymentu wciśnięcie klawisza "Home" powoduje przerwanie (realizacji) eksperymentu i system udostępnia użytkownikowi główny zestaw propozycji (menu główne). Ponowne uaktywnienie tej opcji powoduje kontynuację eksperymentu od momentu zatrzymania.

W trakcie realizacji eksperymentu dla każdego obiektu, począwszy od chwili rozpoczęcia walki, co godzinę użytkownik (jeżeli sposób wprowadzania strat = OPERATOR) wprowadza następujące dane o sytuacji bojowej:

- wielkość strat ogólnych ludzi po godzinie walki obiektu,
- przesunięcie linii styczności (tempo działań) obiektu.

Ponadto (począwszy od chwili zakończenia pierwszej godziny walki) użytkownik może zmienić dane dotyczące:

- rodzaju walki wykonywanej przez obiekt,
- rodzaju broni jaką będzie oddziaływał na obiekt przeciwnik w kolejnej godzinie walki,
- charakterystyki terenu w jakim obiekt będzie prowadził działania,

- stanu sanitarno-epidemicznego obiektu.

Powyższe dane wprowadzane są według zasad wcześniej opisanych.

Podczas realizacji eksperymentu system MEDSYM przekazuje informacje o zaistniałych sytuacjach ekstremalnych w funkcjonowaniu modelu SZLE.

Jeżeli operator ustalił w warunkach początkowych (przy wariancie organizacji ewakuacji sposobem "na siebie"), że osobiście będzie kierował rozdziałem środków transportu sanitarnego, to system będzie żądał podjęcia decyzji o przydziale (wysłaniu) sanitarek do punktów medycznych. Podejmując decyzję o wysłaniu wolnej sanitarki do danego punktu medycznego operator może się kierować informacją przekazywaną przez system o potrzebach ewakuacyjnych punktów medycznych.

Przegrupowanie punktów medycznych. Opcja ta jest udostępniana w zestawie propozycji w chwili, gdy co najmniej jeden z punktów medycznych rozpocznie pracę w miejscu rozwinięcia. Opcja umożliwia wykonanie manewru punktem medycznym. Punkt medyczny można przebazować, jeżeli rozpoczął pracę w miejscu rozwinięcia. System udostępnia użytkownikowi do przeglądu punkty medyczne, które mogą być przebazowane. Dla każdego punktu podaje informacje o :

- odległości rozwinięcia punktu od przedniego skraju,
- liczbie rannych przebywających w punkcie,
- czasie udzielenia pomocy rannym (w odniesieniu do czasu zranienia),
- procencie rannych, którzy otrzymali pomoc w punkcie,
- czasie pracy punktu w miejscu rozwinięcia.

Analizując powyższe informacje operator (podejmuje decyzję) wybiera punkt medyczny do przebazowania. Po podjęciu decyzji o przebazowaniu punktu system pyta czy punkt medyczny:

- po przebazowaniu rozpocznie pracę,
- zostanie zastąpiony punktem medycznym z odwodu medycznego (szefa służby zdrowia).

W pierwszym wariancie operator ustala dla punktu medycznego (w nowym miejscu rozwinięcia) zakres pomocy oraz wzmocnienie personelem medycznym. W wariancie drugim, wprowadzany z odwodu, punkt medyczny jest opisywany na ogólnych zasadach.

Jeżeli w modelowanym SZLE nie będzie przebywał ani jeden ranny MEDSYM przerywa eksperyment udostępniając użytkownikowi główny zestaw propozycji.

4.3.2. Redagowanie dokumentów wynikowych

Odmierzanie upływu czasu symulacyjnego w cyklu minutowym pozwala co minutę rejestrować informacje, charakteryzujące pracę SZLE. Informacje te dotyczą rannych, podsystemu leczniczego oraz podsystemu ewakuacji. Ta duża liczba różnorodnych informacji (dostępna dla użytkownika) w praktyce może być mało przydatna do analizy. Odpowiednio zaprojektowane zestawienia (statystyczne) mogą przedstawiać dużo większą wartość, jako kryteria przy dokonywaniu potrzebnych ocen.

Wyniki z symulacyjnego badania SZLE redagowane są w formie raportów w określonych (w warunkach początkowych) przez użytkownika godzinach. Każdy raport wyświetlany jest na ekranie monitora. Raport jest ekspopnowany na ekranie do momentu wciśnięcia klawisza "Esc" - zezwalającego na kontynuację redagowania raportów. Raport aktualnie prezentowany na ekranie może być na życzenie użytkownika (po wciśnięciu klawisza "Enter") wielokrotnie wydrukowany w formie dokumentu.

Raporty zostały zaprojektowane w ten sposób, aby przekazywane w nich informacje o pracy SZLE mogły być wykorzystywane podczas przygotowania lub przeprowadzania ćwiczeń doskonalących (przez kierownictwo, zespoły autorskie) oraz służyły jako podstawa do oceny SZLE.

Blok redagowania raportów systemu MEDSYM dostarcza informacji dotyczących:

- środowiska SZLE (obiektów prowadzących działania bojowe) o:
  - sytuacji taktyczno-medycznej,
  - strukturze strat sanitarnych;
- podsystemu leczniczego o:
  - pracy punktów medycznych,
  - pracy elementów punktów medycznych,
  - udzielaniu pomocy rannym;
- podsystemu ewakuacji o pracy transportu sanitarnego.

Sytuacja taktyczno-medyczna. Raport może być traktowany jako meldunek z pola walki. Przekazuje następujące informacje o walczącym obiekcie:

- czas rozpoczęcia działań bojowych oraz liczba godzin walki,
- forma walki,
- charakterystyka terenu,
- stan sanitarno-epidemiczny,
- stan (aktualny) ludzi,
- straty ogólne w stanie osobowym (w czasie walki) z podziałem na bezpowrotne i sanitarne.

Struktura strat sanitarnych. Strukturę strat sanitarnych można przedstawić według różnych kryteriów w zależności od zainteresowań użytkownika. W raporcie struktura strat określana jest w liczbach bezwzględnych oraz w procentach. Straty sanitarne podzielone zostały na:

- podstawowe kategorie tj.:
  - zranienia,
  - zachorowania,
  - zaburzenia psychiczne;
- profile: zabiegowy i internistyczny z uwzględnieniem stopnia ciężkości zranienia.

Praca punktu medycznego. Raport o pracy punktu medycznego w miejscu rozwinięcia zawiera następujące informacje:

- czas pracy punktu,
- czas rozpoczęcia pracy,
- czas oczekiwania na rozpoczęcie pracy,
- liczba rannych, którym udzielono pomocy,
- średni czas udzielenia pomocy (od czasu zranienia),
- rodzaj udzielanej pomocy,
- liczba rannych, którzy przebywali w punkcie oraz średni czas ich pobytu,
- liczba zmarłych na skutek odniesionych ran,
- liczba wyleczonych,
- liczba wyewakuowanych z punktu z podziałem na ewakuowanych po udzieleniu im pomocy oraz bez udzielania pomocy,
- liczba rannych przebywających w punkcie z wyszczególnieniem rannych oczekujących na przyjęcie, rokujących nadzieję na wyleczenie (w punkcie) oraz w stanie agonalnym.

Udzielanie pomocy. Raport o udzielaniu w punkcie medycznym pomocy rannym zawiera informacje o tym, ilu rannych otrzymało pomoc medyczną w odniesieniu do potrzebujących tej pomocy, tak w liczbach bezwzględnych jak i w procentach. Zestawienie obejmuje podział rannych na grupy o danym profilu, a w ramach profilu na stopnie ciężkości. Każdą grupę charakteryzują:

- liczba rannych, którzy otrzymali pomoc oraz ogólna liczba rannych (w grupie) potrzebujących pomocy,
- wskaźniki procentowe udzielania pomocy w grupach zranień,
- średni czas udzielenia pomocy.

Raport o udzielaniu pomocy zawiera następujące informacje:

- liczba rannych przybyłych do punktu oraz średni czas przybycia,
- liczba rannych, którzy otrzymali pomoc oraz średni czas otrzymania pomocy,
- liczba rannych, którzy otrzymali pomoc o profilu za-

biegowym oraz internistycznym, z podziałem na stopnie ciężkości zranień.

Praca elementu punktu medycznego. Raporty charakteryzują pracę wszystkich elementów danego punktu medycznego. Raport zawiera następujące informacje:

- nazwa punktu medycznego, do którego należy element,
- nazwa elementu,
- liczba etatowych i przydzielonych stanowisk obsługi,
- liczba obsłużonych rannych,
- czas pracy elementu,
- łączny czas udzielania pomocy oraz wskaźnik procentowy wykorzystania stanowisk obsługi,
- łączny oraz średni czas oczekiwania stanowisk obsługi na rannych,
- łączny oraz średni czas oczekiwania rannych na obsługę,
- wskaźnik (procentowy) wykorzystania stanowiska obsługi.

Praca transportu sanitarnego. W raporcie przedstawione są informacje charakteryzujące pracę środków transportu sanitarnego przypisanych punktowi medycznemu:

- liczba środków transportu,
- liczba wyewakuowanych rannych,
- średni czas ewakuacji rannego,
- średni czas oczekiwania rannych na ewakuację,
- średni czas zajętości (jazdą) środka transportu,
- łączna liczba rejsów,
- średnia liczba kilometrów przejechanych przez środek transportu,
- liczba uszkodzeń środków transportu,
- średni czas trwania awarii środka transportu,
- łączny czas trwania awarii środków transportu.

W proponowanym przez autora zestawie raportów nie wykorzystano w pełni wszystkich informacji o pracy SZLE zebranych przez system MEDSYM. Proponowany zestaw raportów można rozszerzyć uwzględniając wymagania użytkownika.

5. KONCEPCJA WERYFIKACJI MODELU SYSTEMU ZABEZPIECZENIA LECZNICZO-EWAKUACYJNEGO

Zastosowanie pośrednich technik badawczych, jakimi są techniki symulacyjne, do badania działania SZLE, wiąże się z problemem oceny wiarygodności otrzymanych wyników. Jakość wnioskowania o zachowaniu się systemu, charakterystyki jego działania, wyznaczone na podstawie modelu, zależą od jego adekwatności do rzeczywistości [35]. Realność modelu stanowi zatem podstawowy warunek otrzymania wiarygodnych wyników. Problem oceny adekwatności[1] modeli symulacyjnych jest najbardziej nieuchwytny spośród problemów dotyczących symulacji cyfrowej. Pewną elementarną procedurą walidacji, której przeprowadzenie traktować należy jako minimalny wymóg przy dopasowaniu modelu do systemu rzeczywistego, jest metoda sprawdzenia, polegająca na porównaniu otrzymanych wyników z eksperymentu symulacyjnego z wynikami dostarczonymi przez system rzeczywisty, przy takich samych warunkach badania [35], [52].

Etap weryfikacji jest integralnie związany z każdym etapem budowy modelu, a więc odbywa się nie tylko po zakończeniu całej pracy, ale we wszystkich fazach jego tworzenia. Zasadniczą sprawą jest tu problem ustalenia kryteriów, na bazie których będzie można ocenić czy warunki zgodności są spełnione, czy też nie. Wyróżnia się dwie grupy takich kryteriów [26]: wewnętrzne oraz zewnętrzne.

Kryteria wewnętrzne dotyczą zgodności formalnej, zapewniającej brak sprzeczności koncepcyjnych, logicznych, matematycznych oraz występowania zgodności algorytmicznej. Zgodność algorytmiczna umożliwia również efektywne wykonywa-

---

[1] Adekwatność modelu rozumiana jest jako zgodność opisu procesów badanych z ich rzeczywistym przebiegiem (w sensie przyjętego wskaźnika). Metody oceny adekwatności modeli symulacyjnych omówione są w [35]. W literaturze są używane również terminy zasadność, wiarygodność, walidacja.

nie obliczeń oraz przeprowadzenie symulacji komputerowej z wymaganą dokładnością.

Kryteria zewnętrzne dotyczą celów modelowania oraz zgodności modelowanych zjawisk z teorią i z danymi doświadczalnymi. A więc kryteria te określa zgodność heurystyczna i pragmatyczna.

Zgodność heurystyczna dotyczy walorów naukowych modelu, to jest zdolności interpretacji za jego pomocą określonych zjawisk, weryfikacji hipotez, formułowania nowych zadań badawczych.

Zgodność pragmatyczna związana jest bezpośrednio z wynikami modelowania. Wymaga ona porównania wielkości wyjściowych modelu i systemu modelowanego, przy tych samych warunkach oddziaływania zewnętrznego na system i model.

W ramach zgodności pragmatycznej rozróżnia się zgodność replikatywną, predykatywną oraz strukturalną [66].

Model jest zgodny replikatywnie, jeżeli do oceny zgodności użyto tych samych danych, na podstawie których dokonano identyfikacji modelu. Świadczy ona o poprawności procedury identyfikacyjnej.

Model jest zgodny predykatywnie, jeżeli jego zgodność z systemem stwierdza się w innych przedziałach czasu i w innych warunkach niż te, przy których dokonywano identyfikacji modelu.

Model jest zgodny strukturalnie, jeżeli oprócz zgodności wyników otrzymanych z modelu i z systemu istnieje zgodność relacji między strukturą modelu i wewnętrznymi działaniami systemu rzeczywistego. Model nie tylko odtwarza zaobserwowaną reakcję systemu, lecz także wiernie odzwierciedla sposób w jaki system rzeczywisty działa, aby wytworzyć tę reakcję (zgodność mechanizmów przetwarzania wielkości wejściowych w wyjściowe systemu i modelu).

Ocena adekwatności dowojnego modelu oznacza poddanie go testowi (próbie) czy jest on "prawdziwy" dla uprzednio określonego zbioru kryteriów, które umożliwią odróżnienie modelu adekwatnego od nieadekwatnego. Zagadnienie oceny adekwatności modelu symulacyjnego polega na opracowaniu reguły

decyzyjnej, która na podstawie wyników eksperymentów przeprowadzonych na badanym systemie (wg. opracowanego algorytmu symulacji) pozwoli przyjąć bądź odrzucić hipotezę o adekwatności modelu symulacyjnego do procesu zachodzącego w badanym systemie. Ocenę zgodności modelu symulacyjnego do procesu badanego przeprowadza się na podstawie predykcji retrospektywnej (na bazie wyników pośrednich eksperymentu symulacyjnego) [35].

Wyróżnia się dwa etapy oceny adekwatności modelu symulacyjnego do procesu badanego. Są to oceny: jakościowa i ilościowa.

Ocena jakościowa polega na ocenie poprawności wyznaczania historii stanów modelu symulacyjnego. Przeprowadza się ją na podstawie wydruku pośrednich wyników obliczeń programu badania symulacyjnego. Sprawdza się zgodność w czasie realizacji zdarzeń modelu symulacyjnego i procesu badanego.

Ilościowa ocena dokonywana jest w odniesieniu do przyjętych kryteriów. Podstawowym zagadnieniem ilościowej oceny adekwatności modelu symulacyjnego jest ustalenie wskaźnika zgodności modelu symulacyjnego z badanym procesem oraz aparatu matematycznego, który pozwoliłby rozstrzygnąć czy model jest adekwatny. Podstawowymi wskaźnikami adekwatności modeli symulacyjnych są wskaźniki efektywności działania systemu oraz wskaźniki statystycznej zgodności właściwości probabilistycznych badanego procesu i jego modelu symulacyjnego. Zaleca się, aby ocenę adekwatności przeprowadzać na podstawie wyników uzyskanych z eksperymentu symulacyjnego i eksperymentu na systemie badanym. Jeżeli nie ma możliwości przeprowadzenia badań empirycznych, stopień adekwatności można określić na podstawie odpowiednich charakterystyk badanego procesu, wyznaczonych analitycznie. Dla efektywnościowych wskaźników oceny adekwatności określa się statystyczną zgodność w sensie przyjętego kryterium. Wskaźniki efektywności działania systemu wyznacza się na podstawie obserwacji badanego systemu oraz na podstawie eksperymentu symulacyjnego.

Określenie stopnia adekwatności modelu (stosując wskaźniki statystycznej zgodności), polega na ustaleniu zgodno-

ści właściwości probabilistycznych procesu zachodzącego w badanym systemie i modelu symulacyjnym badanego procesu (na podstawie obserwacji określonych wielkości podczas eksperymentu na systemie badanym i wyników eksperymentu symulacyjnego).

W obu przypadkach, jeżeli wystąpi zgodność wyników, można przyjąć, że model symulacyjny jest adekwatny do procesu badanego ze względu na dane charakterystyki, przy danym kryterium, przy przyjętych założeniach.

W przypadku zastosowania metod symulacyjnych do badania SZLE przeprowadzenie dowodu "poprawności" modelu jest praktycznie nierealne. Badanie wiarygodności modelu SZLE za pomocą standardowych metod statystycznych trudno jest przeprowadzić - ze względu na brak danych empirycznych uzyskanych z obserwacji systemu rzeczywistego. Zaś wyznaczenie charakterystyk w sposób analityczny, na podstawie modelu matematycznego, zdaniem autora jest problemem bardzo złożonym[2]. Ponadto należy podkreślić, że otrzymane z modelu wyniki stanowią łączny efekt współdziałania trzech podstawowych czynników uwzględnianych w modelu tj. procesów fizycznych, struktury organizacyjnej oraz ludzi. Istotne trudności w ocenie takiego modelu polegają na tym, że każdy z wymienionych czynników może się charakteryzować różnym poziomem wiarygodności. Problem oceny modelu komplikuje udział czynnika ludzkiego (ludzie podejmują decyzje o przydziale sił, przebazowaniu punktów medycznych, przydziale środków transportu sanitarnego). Ludzie uczestniczą i decydują o przebiegu procesów leczniczo-ewakuacyjnych.

---

[2] SZLE odpowiada klasie systemów masowej obsługi z obsługą wielofazową. Wykorzystując teorię sieci systemów masowej obsługi opis systemu wymaga określenia: liczby faz, liczby kanałów obsługi w każdej fazie, regulaminu formowania kolejek przed fazami, rozkładów obsługi dla każdego kanału obsługi i rozkładów strumienia wejściowego [43].

Ponieważ model nie zastępuje, jak również nie uzupełnia ogólnej teorii odwzorowywanych zjawisk czy procesów, to nie jest niezbędnym badanie stopnia adekwatności modelu metodami formalnymi. Ocenę modelu SZLE (wyników eksperymentu) można powierzyć grupie osób uznanych za specjalistów w dziedzinie organizacji zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych wojsk.

Weryfikacja modelu, aczkolwiek kojarzy się przede wszystkim z weryfikacją otrzymanych wyników, związana jest z każdą fazą budowy modelu. Wymagana jest zatem na etapie:

- konceptualizacji,
- implementacji komputerowej,
- realizacji eksperymentów symulacyjnych.

Efektem działalności poznawczej, stanowiącej pierwszy etap badań SZLE, jest opis systemu, uwzględniający charakteryzujące go parametry - czyli konceptualizacja. Zdefiniowanie i opisanie koncepcji modelu, określenie jego podstaw logicznych z uwzględnieniem przyjętych założeń i ograniczeń stanowi efekt postępowania identyfikacyjnego (procedury identyfikacyjnej przyjętej dla określonego aspektu badań systemu). Procedura identyfikacyjna obejmowała rozpatrywanie systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego w aspekcie [55 t.1]:

- morfologicznym (identyfikacja elementów oraz powiązań między nimi, odwzorowanie struktury systemu w postaci grafu, wyznaczenie charakterystyk ilościowych i strukturalnych systemu);
- funkcjonalnym (identyfikacja podstawowych oddziaływań pomiędzy systemem a otoczeniem oraz pomiędzy elementami systemu, analiza związków przyczynowo skutkowych, określenie przestrzeni stanów oraz podstawowych odwzorowań, wyznaczenie struktury dynamicznej i funkcjonalnej SZLE).

Istotne znaczenie w tej fazie opisu SZLE ma eksplikacja pojęć (w ramach przyjętych założeń i ograniczeń).

Poprawność modelu konceptualnego, wyrażonego w sposób abstrakcyjny, zdaniem autora wiąże się z poprawnością procedury identyfikacyjnej. Fazę opracowania koncepcji modelu SZLE oparto głównie na procesie wnioskowania. Dlatego do sprawdzenia poprawności modelu konceptualnego zastosowano metodę (podobnie jak w obliczeniach numerycznych) polegającą na śledzeniu wnioskowania za pomocą odwrócenia procesu [39], [1]. Stosując proces odwróconego wnioskowania przeprowadzona została analiza modelu polegająca na:

- przeglądzie koncepcji modelu oraz jego podstaw logicznych w powiązaniu z elementami deterministycznymi i losowymi,
- przeglądzie przyjętych założeń i ograniczeń,
- sprawdzeniu poprawności wykorzystywanych danych oraz dostępności źródeł informacji do ich pozyskania,
- przeglądzie parametrów i zmiennych występujących w modelu.

Świadomość, że przeprowadzona (przez autora) weryfikacja modelu konceptualnego metodą odwróconego wnioskowania może nie stanowić niezawodnego sposobu zapewniającego jego poprawność, była przyczyną wyboru dodatkowej metody weryfikacji. Analiza poprawności modelu konceptualnego, szczególnie zasadności przyjętych założeń i ograniczeń oraz ich wpływu na dokładność odwzorowania, powierzona została specjalistom zajmującym się organizacją zabezpieczenia medycznego działań bojowych. Akceptacja przez ekspertów modelu konceptualnego oraz zadowalające wyniki z analizy modelu, przeprowadzonej przez autora metodą odwróconego wnioskowania, świadczą o poprawności procedury identyfikacyjnej, a w efekcie o poprawności modelu konceptualnego SZLE.

Podczas konstruowania modelu konceptualnego SZLE (szczególnie przy odwzorowaniu procesów , określaniu założeń i ograniczeń) konsekwentnie brany był pod uwagę drugi etap budowy modelu - jego komputerowa implementacja. Takie podejście pozwoliło na wierne odwzorowanie modelu konceptualnego w jego realizację programową bez dodatkowych założeń i ograniczeń. Wyrażenie poprawnego modelu konceptualnego w języku

programowania w celu jego symulacyjnej realizacji nie implikuje jednak poprawności programu. Zatem etap implementacji komputerowej modelu konceptualnego SZLE wymaga również sprawdzenia, czy program poprawnie symuluje model. Postępowanie sprawdzające ograniczone zostało do przeprowadzenia testów na poprawne działanie programu[3].

Oprogramowanie systemu MEDSYM stanowiące model programowy SZLE podzielone zostało na trzy warstwy:

0 - jądro systemu (program sterujący),

1 - moduły zadaniowe (procedury złożone - realizujące zadania),

2 - jednostki programowe (najbardziej wewnętrzne, niepodzielne procedury i funkcje).

Sprawdzenie poprawności oprogramowania modelu przeprowadzone zostało dla każdej warstwy oprogramowania, a w ramach warstwy dla każdego obiektu programowego (procedury, funkcji), w każdej fazie jego projektowania. Projektowanie obiektu programowego składało się z trzech faz:

- opracowania specyfikacji,
- algorytmizacji,
- kodowania.

Faza kodowania zawsze poprzedzona była sprawdzeniem poprawności logicznej specyfikacji, a następnie algorytmu. "Ręczne symulowanie" logiki specyfikacji i algorytmu pozwoliło na wykrycie i usunięcie błędów (niekonsekwencji, niezupełności czy niejasności) przed rozpoczęciem fazy kodowania.

Budowę modelu programowego SZLE rozpoczęto od najwyższej warstwy (zerowej) - programu sterującego, przechodząc następnie do projektowania obiektów programowych warstw niż-

---

[3] Program poprawnie symuluje model jeżeli istnieje pewien morfizm opisu modelu z programu w opis modelu konceptualnego [66]. Formalne dowiedzenie istnienia morfizmu, jak i formalne dowiedzenie poprawności programu zdaniem autora stanowi odrębny, złożony problem, przekraczający zakres niniejszej rozprawy.

szych (pierwszej i drugiej). Obiekty programowe z warstwy niższej, uaktywniane przez obiekt programowy warstwy wyższej, wstępnie zastąpione zostały ich makietami[4]. Pozwoliło to na testowanie obiektu programowego natychmiast po jego zakodowaniu. Obiekt programowy testowany był w środowisku symulowanym - zastępującym środowisko rzeczywiste, w jakim ma on funkcjonować. Przeprowadzone testy dotyczyły sprawdzenia:

- reakcji na zestaw danych: zawierających się w przedziale akceptowalności, obejmujących krańce przedziału akceptowalności (np. ciągi puste, wartości zerowe), nie mieszczących się w dopuszczalnym zakresie;
- poprawności obliczeń - przez porównanie otrzymanych wyników z obliczeniami przeprowadzonymi "ręcznym" sposobem.

Po uzyskaniu pozytywnych wyników testów, testowany obiekt programowy instalowany był w miejsce jego makiety celem przetestowania w rzeczywistym środowisku. Polegało to na sprawdzeniu połączenia i współdziałania obiektów programowych oraz sprawdzeniu, czy wszystkie wartości przekazywane między obiektami są poprawne. Po zakończeniu testowania obiekt programowy kierowany był do biblioteki. Takie postępowanie gwarantowało to, że w wyniku odwołania do danego obiektu programowego uaktywniana była zawsze ta sama jego wersja.

Podczas testowania przyjęto zasadę, że szczególnie uważnie powinny być testowane te obiekty programowe, które będą bardzo często wykorzystywane lub te, których niepoprawne funkcjonowanie (wyniki) może znacząco zaważyć na wyniku

---

[4] Makieta obiektu programowego ma tylko punkt wejścia i punkt powrotu. Zastosowano ją do testowania obiektu programowego wyższego poziomu, gdy na danym etapie projektowania obiekt zastępowany jego makietą nie jest jeszcze gotowy lub nie jest wymagany.

finalnym. Do takich obiektów programowych należy funkcja generowania liczb pseudolosowych według rozkładu równomiernego ze zbioru $\mathcal{R}_{\Theta 1}$. Na bazie tego generatora realizowana była transformacja liczb pseudolosowych o rozkładzie równomiernym na liczby o żądanym rozkładzie (teoretycznym lub empirycznym). Do generowania liczb pseudolosowych według rozkładu równomiernego ze zbioru $\mathcal{R}_{\Theta 1}$ zastosowano generator multiplikatywny[5] prezentowany w pracy [52]. Przyjęto, że m = 3125, $\lambda = x_{\Theta} = 0.12345678901$. Otrzymane wyniki testów statystycznych (dla przyjętych wartości λ, m) są zadowalające i zgodne z wynikami testów tego generatora prezentowanymi w [52].

Po zakończeniu testów obiektów programowych, przeprowadzona została seria testów na modelu programowym SZLE. Testy te dotyczyły sprawdzenia, czy w dowolnym momencie funkcjonowania stan modelu, czyli zbiór wartości jego atrybutów, jest poprawny. W celu rejestracji wartości atrybutów modelu (zmiennych programu) w programie umieszczono monitory. Wykorzystano również program śledzący (debugger), znajdujący się w pakiecie CLIPPER SUMMER '87. Uzyskane wyniki pośrednie z funkcjonowania modelu (charakteryzujące stan: rannych, punktów medycznych, elementów punktów medycznych oraz stanowisk obsługi elementów) posłużyły do:

- przeanalizowania ruchu rannych w modelu SZLE,
- przeanalizowania funkcjonowania punktów medycznych oraz ich elementów,
- zbilansowania wartości atrybutów mających wymiar czasu z wartością czasu zegara symulacyjnego,

---

[5] Generator multiplikatywny funkcjonuje według zasady:

$$x_{i+1} = x_i \cdot \lambda (\mathrm{mod}(m)),$$

gdzie:

x_{i+1} – nowo wyliczona liczba pseudolosowa,
x_i – ostatnio wygenerowana liczba pseudolosowa,
λ, m – liczby całkowite nieujemne,
mod – operacja modulo.

- zbilansowania liczby rannych na wejściu z liczbą rannych na wyjściu modelowanego SZLE; taki bilans przeprowadzono również dla każdego punktu medycznego,
- sprawdzenia zgodności wyników przedstawionych w raportach o funkcjonowaniu modelowanego SZLE z rezultatami obliczeń przeprowadzonych na podstawie wyników pośrednich.

Wstępna ocena poprawności funkcjonowania modelu oraz ocena poprawności wyznaczania historii zdarzeń przeprowadzona była w warunkach, gdy model funkcjonował na zestawie parametrów przygotowanych dla potrzeb testowania. Przyjęte wartości parametrów, zbliżone do wartości rzeczywistych, przedstawione są w załączniku do rozprawy. Przed przystąpieniem do ostatecznej oceny określonych charakterystyk (wyników) uzyskanych z eksperymentu symulacyjnego należałoby parametrom modelu nadać wartości rzeczywiste. Opracowanie wartości rzeczywistych parametrów dobrze byłoby powierzyć specjalistom od organizacji zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych, a odnośnie działalności segregacyjnej rannych i chorych - doświadczonym w tej dziedzinie lekarzom.

Zdaniem autora zadowalającym sposobem weryfikacji wyników eksperymentu, z symulacyjnego badania SZLE, będzie następujące postępowanie:

A. Ustalenie kryteriów. Za kryterium oceny SZLE proponuje się przyjąć wskaźnik efektywności działania systemu (lub jego elementów) nadając mu sens wydajności[6] lub sprawności działania[7] [55 t.2]. Jako kryteria ocenowe wydajności

---

[6] Wydajność systemu jest cechą systemową, która wyraża zdolność systemu do intensywnej realizacji zadań (celów).

[7] Sprawność działania jest cechą systemową wyrażającą zdolność systemu (jego elementów) do znajdowania się w odpowiednio długim okresie czasu w stanach pozwalających na realizację zadań zgodnie z określonymi wymaganiami.

można przyjąć:

- liczbę rannych, którzy otrzymali określonego rodzaju pomoc w punktach medycznych,
- średni czas otrzymania przez rannych określonego rodzaju pomocy medycznej (w odniesieniu do czasu zranienia),
- średni czas ewakuacji rannych pomiędzy poszczególnymi etapami ewakuacji,
- liczbę rannych zmarłych od ran.

Kryteriami ocenowymi sprawności mogą być:

- wskaźnik wykorzystania stanowisk obsługi elementów punktu medycznego,
- wskaźnik wykorzystania środka transportu sanitarnego interpretowany jako:
  - stosunek średniego czasu zajętości środka transportu ewakuacją rannych do czasu pracy podsystemu ewakuacji,
  - średnia liczba rannych ewakuowanych w jednym rejsie (dotyczy wielomiejscowych środków transportu).

B. Proces weryfikacji wyników z symulacyjnego badania SZLE proponuje się przeprowadzać etapami, gdzie każdy etap związany będzie z realizacją określonego celu badań. Cele badań powinny dotyczyć funkcjonowania:

- elementów podsystemu leczniczego (przy założeniu, że SZLE stanowi "wyizolowany" punkt medyczny),
- podsystemu leczniczego, jako całości przy założeniu, że podsystem ewakuacji pracuje poprawnie (podsystem ewakuacji pracuje według wariantu uproszczonego),
- SZLE przy założeniu, że w trakcie eksperymentu nie będą wprowadzane elementy decyzyjne mające wpływ na jego funkcjonowanie.

C. Eksperymenty symulacyjne związane z realizacją danego celu badań należy przeprowadzać przy następujących założeniach:

- wielkość strat sanitarnych na dobę walki jest wielkością średnią, dla której planowane były możliwości

etatowych sił i środków służby zdrowia,

- nie wykorzystuje się sił z odwodu medycznego,
- pomoc medyczna udzielana jest w pełnym zakresie,
- stan sanitarno-epidemiczny przyjmuje się jako pomyślny.

D. Do oceny wyników eksperymentu symulacyjnego proponuje się wykorzystać metody heurystyczne [1] (na przykład metodę ekspertów).

Autor zdaje sobie sprawę, że zaproponowana koncepcja weryfikacji modelu SZLE może być kontrowersyjna z racji odstąpienia w niej od formalnych metod weryfikacji. Należy jednak podkreślić, że w warunkach, gdy analityczne wyznaczenie charakterystyk SZLE jest złożone, a eksperyment na systemie rzeczywistym jest niemożliwy do realizacji, prezentowane postępowanie weryfikacyjne wydaje się słuszne, chociażby z racji jego realności oraz niewielkiego kosztu realizacji.

PODSUMOWANIE

Całokształt przedstawionych w rozprawie problemów badawczych oraz zaprezentowanych sposobów ich rozwiązania dotyczył realizacji celu rozprawy - **modelu symulacyjnego systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego działań bojowych wojsk na szczeblu taktycznym.** Tak sformułowany cel główny oraz związane z nim problemy badawcze zostały w pracy całkowicie zrealizowane.

Budując model symulacyjny SZLE konsekwentnie stosowano podejście systemowe. Takie podejście zapewniało kompleksową analizę SZLE, analizę procesów w nim zachodzących, zależności między nimi oraz zależności między systemem a jego otoczeniem. Uwzględnienie tych procesów, zależności między nimi oraz konieczność ograniczenia i selekcji materiału rozprawy określa jej obszar i układ.

W sensie metodologicznym rozprawa pomyślana została tak, by obejmowała każdy etap budowy modelu. W ten sposób powstał - jak sądzi autor - pewien logiczny, zamknięty ciąg przebiegający od opisu SZLE podczas procesu identyfikacji, poprzez określenie ograniczeń i założeń, opracowanie modelu formalnego, sposób jego realizacji (implementację komputerową), weryfikację aż do zaprezentowania w formie przykładu wyników z eksperymentu symulacyjnego. Zapewnia to, przy próbie systemowego ujęcia problematyki, spójność obszaru rozprawy.

W sensie merytorycznym w rozprawie wyróżnić można następujące problemy główne:

- identyfikacja SZLE,
- wpływ otoczenia systemu na jego funkcjonowanie,
- identyfikacja procesów leczniczych i ewakuacyjnych na poszczególnych etapach leczniczo-ewakuacyjnych.
- rozpoznanie i dobór metod pozwalających zbudować adekwatny model symulacyjny,
- budowa modelu SZLE (modele: otoczenia, podsystemu leczniczego oraz podsystemu ewakuacji).

- sposób weryfikacji modelu.

Wymienione problemy stanowią główne wątki rozprawy i determinują jej ramy. Na podkreślenie zasługuje również drugi czynnik wyznaczający ramy rozprawy - mianowicie skupienie uwagi na problemach związanych z komputerową realizacją modelu oraz jego aplikacją. Wynika to z faktu przypisywania dużego znaczenia walorom użytkowym modelu oraz ze szczególnego profesjonalnego zainteresowania autora tym obszarem.

Zdaniem autora większość problemów podjętych w rozprawie została doprowadzona do uzyskania satysfakcjonujących rozwiązań. Do najbardziej istotnych elementów rozprawy, stanowiących własny oryginalny dorobek autora, należy zaliczyć:

1. Rozwiązanie problemu wpływu środowiska na funkcjonowanie SZLE. W szczególności dotyczy to generowania strumienia rannych, gdzie za punkt wyjścia przyjęto wielkość strat ogólnych w stanach osobowych oraz wzięto pod uwagę realia pola walki. W efekcie każdy ranny obsługiwany w modelu SZLE scharakteryzowany jest opisem zranienia oraz miejscem i czasem jego powstania.
2. Przedstawienie sposobu jednolitego opisu struktury funkcjonalnej punktów medycznych - stanowiących elementy systemu. Każdy punkt medyczny opisywany jest siecią, której węzły stanowią elementy funkcjonalne punktu medycznego, natomiast gałęzie stanowią dopuszczalne drogi ruchu rannych. Przemieszczanie się rannego pomiędzy węzłami, po dopuszczalnych gałęziach, uzależnione zostało od opisu zranienia oraz zakresu pomocy. Takie rozwiązanie sprawia, że modelowany punkt medyczny funkcjonuje w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.
3. Rozwiązanie zagadnienia odwzorowania funkcjonowania podsystemu ewakuacji. W rozwiązaniu uwzględniono sposoby ewakuacji oraz możliwość wykorzystania różnego rodzaju środków transportu sanitarnego jak również środków transportu ogólnego przeznaczenia. Przewidziano różne warianty pracy podsystemu ewakuacji w zależności od liczby środków transportu oraz sposobu gospodarowania nimi (ich rozdziału).

4. Realizację programową modelu SZLE, którą stanowi pakiet oprogramowania MEDSYM. Oprogramowanie modelu zorientowane jest na użytkownika zarówno w zakresie przygotowania danych oraz realizacji eksperymentu jak również w zakresie redagowania dla użytkownika w sposób syntetyczny i czytelny wyników z eksperymentu.

W realizacji programowej modelu dążono do uniezależnienia oprogramowania od danych (parametrów modelu). Miało to na celu uzyskanie możliwości łatwej modyfikacji parametrów i danych modelu. W konsekwencji powyższego zmiany zasad, na których oparte jest funkcjonowanie SZLE nie dyskwalifikują jego modelu jako narzędzia badawczego[1]. Łatwość modyfikacji parametrów modelu (przechowywanych w bazie danych modelu), możliwość definiowania struktury organizacyjnej modelowanego SZLE oraz możliwość definiowania różnych wariantów struktur funkcjonalnych punktów medycznych (wariantów rozwinięcia) pozwala na wykorzystanie pakietu MEDSYM do symulacyjnego badania całej klasy problemów dotyczących działalności leczniczo-ewakuacyjnej. Wydaje się, że prezentowany model może być z powodzeniem wykorzystany w badaniach sprawności polowego systemu leczniczo-ewakuacyjnego (zgodnie z metodologią badań przedstawioną w [58], [59]). Ponadto może on znaleźć zastosowanie do symulacyjnego badania SZLE w zakresie:

- oceny spełnienia przez system określonych własności,
- weryfikacji norm i wymagań stawianych przed systemem,
- ustalenia stopnia zdolności systemu (podsystemów, elementów) do wykonywania zadań,
- hipotetycznych struktur organizacyjnych i funkcjonalnych systemu,
- wykrycia potencjalnych rezerw w systemie lub nadmiernego obciążenia systemu.

---

[1] Autor nawiązuje do aktualnie prowadzonych prac dotyczących reorganizacji pionu wojskowej służby zdrowia.

Pełną ocenę utylitarności modelu pozostawia się przyszłemu użytkownikowi.

Autor zdaje sobie sprawę, że przedstawione w rozprawie rozwiązania problemów, dotyczących modelowania procesów leczniczo-ewakuacyjnych, nie są w swej formie ostateczne. Zaprezentowany materiał może stanowić płaszczyznę wyjściową do dalszych studiów nad polowym systemem zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego a w konsekwencji do opracowania pełnego modelu tego systemu. Wydaje się, że w ramach dalszej działalności celowe byłoby rozwiązanie i uwzględnienie w modelu następujących zagadnień:

- wpływ zakłóceń (oddziaływania przeciwnika) na funkcjonowanie podsystemu leczniczego i ewakuacyjnego,
- zależność wyzdrowień i śmiertelności od ran od czasu udzielenia pomocy medycznej (określonego rodzaju),
- bilansowanie dostaw i zużycia materiałów medycznych zaopatrzenia bojowego,
- wpływ broni neutronowej oraz systemów broni precyzyjnego rażenia na wielkość i strukturę strat sanitarnych,
- ewakuacja według wskazań do szpitali oraz udzielanie specjalistycznej pomocy medycznej.

Ze względu na szeroki zakres poruszanej w pracy problematyki, związanej z różnymi dziedzinami wiedzy, autor często odwoływał się do literatury. W zamieszczonym na końcu rozprawy spisie literatury przedstawiono tylko pozycje o charakterze podstawowym oraz te, które stanowią ilustrację kierunków badań w danej dziedzinie.

PODZIĘKOWANIA

Pragnę szczególnie serdecznie podziękować promotorowi panu płk. prof. dr. hab. Władysławowi FILAROWI za kierownictwo merytoryczne oraz wieloletnią opiekę naukową.

Podziękowania wyrażam tym osobom, których życzliwa pomoc w dużym stopniu ułatwiła mi pisanie rozprawy i umożliwiła doprowadzenie jej do obecnej postaci.

Szefowi Centrum Informatyki AON panu płk. prof. dr. hab. inż. Piotrowi SIENKIEWICZOWI składam podziękowania za cenne wskazówki oraz stworzenie dogodnych warunków do pisania rozprawy.

Jestem wdzięczny panu płk. doc. dr. hab. Bohdanowi GĘBICKIEMU, z którego wiedzy i doświadczenia w formie życzliwych rad i kosultacji mogłem korzystać.

Panu płk. dr. nauk med. Marianowi DOJCZYNSKIEMU oraz pracownikom naukowym Zakładu Organizacji i Taktyki Służby Zdrowia IOOZ WAM dziękuję za udostępnienie materiałów oraz pomoc w opracowaniu interesujących mnie danych.

Podziękowania składam kolegom płk. dr. inż. Emilowi KILAROWI, ppłk. mgr. Kazimierzowi SALAKOWI, ppłk. mgr. inż. Markowi KINASIEWICZOWI, mjr. dr. inż. Jerzemu STANIKOWI za pomocne dyskusje i krytyczne uwagi dotyczące szczególnie trzeciego rozdziału rozprawy.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA AON
Nr ewid.
Dział Zbiorów Jawnych Akademii

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SYMBOLI

$\mathbb{B}_{l_p}$ – zbiór numerów modeli struktur punktów medycznych klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$;

$\mathbb{C}_m$ – zbiór numerów stanowisk obsługi elementu E_m;

$c \in \mathbb{C}_m$ – numer stanowiska obsługi elementu E_m;

$\mathbb{CU}$ – zbiór z wartościami prawdopodobieństw rozkładu urazów na czynniki urazogenne;

d_n^{lm} – aktualna odległość punktu medycznego PM_n od przedniego skraju (w chwili $t \in \mathbb{T}$);

$d_{n',n}^{pp}$, $d_{n,n'}^{pp}$ – aktualna odległość w linii prostej pomiędzy punktami $PM_{n'}$ i PM_n, (w chwili $t \in \mathbb{T}$);

$d_{n',n}^{rm}$, $d_{n,n'}^{rm}$ – rzeczywista odległość pomiędzy punktami $PM_{n'}$ i PM_n, (w chwili $t \in \mathbb{T}$);

$\mathbb{E}$ – zbiór wszystkich elementów otoczenia SZLE;

$\mathbb{E}$ – zbiór wszystkich elementów składowych SZLE;

$\mathbb{E}^*$ – skończony zbiór elementów systemu;

$\mathbb{E}_n$ – zbiór elementów funkcjonalnych punktu PM_n;

E_m – opis m-tego elementu funkcjonalnego punktu medycznego PM_n ($m \in M_n$);

e^{idm} – identyfikator rodzaju elementu;

e^{krp} – numer rodzaju pomocy medycznej (czynności leczniczej) jaką ranny otrzymuje w elemencie punktu medycznego;

e^{lr} – liczba rannych obsłużonych przez stanowiska obsługi elementu punktu medycznego (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

e^{lmo} – etatowa liczba stanowisk obsługi elementu punktu medycznego;

$e_{l_m}^{tzemin}$, $e_{l_m}^{tzemax}$ – normatywny przedział czasu zajętości stanowiska obsługi (czynnościami leczniczymi) elementu punktu medycznego dla zakresu pomocy o numerze $l_m \in \mathbb{L}_m$;

$e^{tzrmin}_{l_m}, e^{tzrmax}_{l_m}$ – normatywny przedział czasu zajętości rannego czynnościami leczniczymi w elemencie punktu medycznego dla zakresu pomocy o numerze $l_m \in \mathbb{L}_m$;

$\mathbb{G}$ – zbiór numerów elementów zbioru relacji $\mathbb{H}^*$;

GSR – zbiór numerów środków rażenia jakimi przeciwnik oddziaływuje na dany obiekt (GSR $\subseteq \mathbb{L}_r$);

$\mathbb{H}^*$ – skończony zbiór relacji określonych na zbiorze $\mathbb{E}^*$;

$\overset{\wedge}{\mathbb{H}}$ – zbiór relacji pomiędzy elementami otoczenia;

$\overset{\vee}{\mathbb{H}}$ – zbiór relacji pomiędzy elementami SZLE;

$H_n \subseteq \mathbb{E}_n \times \mathbb{E}_n$ – relacja podporządkowania funkcjonalnego elementów punktu medycznego;

$\mathbb{I}$ – zbiór numerów obiektów;

$i, i', i^* \in \mathbb{I}$ – numer obiektu;

$\mathbb{J}$ – zbiór numerów rannych;

$j \in \mathbb{J}$ – numer rannego;

$\mathbb{J}^{ew}_n$ – zbiór numerów rannych gotowym do ewakuacji w punkcie PM_n w chwili czasu t;

$\mathbb{K}$ – zbiór numerów kwantów czasu ΔT;

$k \in \mathbb{K}$ – numer kwantu czasu ΔT;

$\mathbb{K}^*$ – zbiór numerów kwantów czasu Δt;

$k^* \in \mathbb{K}^*$ – numer kwantu czasu Δt;

$\mathbb{KB\$}^{np}_{GSR}$ – zbiór wskaźników liczbowych stosunku wielkości strat bezpowrotnych do wielkości strat sanitarnych dla niekorzystnej pory roku, przy GSR $\subseteq \mathbb{L}_r$;

$\mathbb{KB\$}^{kp}_{GSR}$ – zbiór wskaźników liczbowych stosunku wielkości strat bezpowrotnych do wielkości strat sanitarnych dla korzystnej pory roku, przy GSR $\subseteq \mathbb{L}_r$;

$K_{b/s}$ – wskaźnik liczbowy będący stosunkiem wielkości strat bezpowrotnych do wielkości strat sanitarnych;

$\mathbb{K}\Phi^*_n$ – zbiór kolejek rannych do elementów punktu PM_n;

$\mathbb{K}\Phi_m$ – kolejka rannych oczekujących na obsługę w elemencie E_m punktu medycznego;

$\mathbb{KT}$ – zbiór klas terenu;

$\mathbb{L}_c$ – zbiór numerów rodzajów czynności leczniczych;

$l_c \in \mathbb{L}_c$ – numer rodzaju czynności leczniczej;

$\mathbb{L}_{se}$ – zbiór numerów stanów sanitarno-epidemicznych;

$l_{se} \in \mathbb{L}_{se}$ – numer stanu sanitarno-epidemicznego;

$\mathbb{L}_{m}$ – zbiór numerów zakresów pomocy medycznej;

$l_{m} \in \mathbb{L}_{m}$ – numer zakresu pomocy medycznej;

$\mathbb{L}_{p}$ – zbiór numerów klas punktów medycznych;

$l_{p} \in \mathbb{L}_{p}$ – numer klasy punktu medycznego;

$\mathbb{L}_{pe}$ – zbiór numerów pozycji ewakuacji rannego;

$l_{pe} \in \mathbb{L}_{pe}$ – numer pozycji ewakuacji rannego;

$\mathbb{L}_{r}$ – zbiór numerów grup środków rażenia;

$l_{r} \in \mathbb{L}_{r}$ – numer grupy środków rażenia;

l^{rnd} – liczba wylosowa ze zbioru $\mathcal{R}_{01}$ według rozkładu równomiernego;

$\mathbb{L}_{se}$ – zbiór numerów klas środków transportu do ewakuacji rannych;

$l_{se} \in \mathbb{L}_{se}$ – numer klasy środka transportu do ewakuacji;

$\mathbb{L}_{w}$ – zbiór numerów rodzajów walki;

$l_{w} \in \mathbb{L}_{w}$ – numer rodzaju walki;

$\mathbb{L}_{z}$ – zbiór numerów klas terenu;

$l_{z} \in \mathbb{L}_{z}$ – numer klasy terenu;

$\mathbb{N}$ – zbiór numerów punktów medycznych;

$n, n' \in \mathbb{N}$ – numer punktu medycznego;

$\mathbb{M}_{n}$ – zbiór numerów elementów punktu medycznego PM_{n} $(n \in \mathbb{N})$;

$m, m' \in \mathbb{M}_{n}$ – numer elementu punktu medycznego PM_{n};

$m^{*} \in H_{n}(m)$ – numer elementu, do którego może być skierowany ranny przebywający w elemencie o numerze $m \in \mathbb{M}_{n}$;

Φ – zbiór obiektów;

Φ^{p} – zbiór obiektów bojowych (prostych);

Φ^{z} – zbiór obiektów złożonych (organizacyjnych);

O_{i} – opis obiektu o numerze $i \in \mathbb{I}$;

o^{etl} – etatowa liczba ludzi obiektu;

o^{grr} – rodzaje środków rażenia jakimi przeciwnik oddziaływuje na obiekt (w przedziale czasu ΔT);

o^{kpm} – numer klasy punktu medycznego rozwijanego przez jednostkę służby zdrowia obiektu;

o^{nrp} – numer punktu medycznego obsługującego obiekt $O \in \Phi$;

o^{nrw} – numer formy walki jaką prowadzi obiekt (w przedziale czasu ΔT);

o^{nsep} – numer klasy stanu sanitarno-epidemicznego obiektu (w przedziale czasu ΔT);

o^{nter} – numer klasy terenu na jakim obiekt prowadzi działania bojowe (w przedziale czasu ΔT);

o^{pls} – przesunięcie linii styczności obiektu z przeciwnikiem (w przedziale czasu ΔT);

o^{rub} – przesunięcie linii styczności obiektu z przeciwnikiem (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

o^{sb} – straty bezpowrotne w stanie osobowym obiektu (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

o^{sl} – stan osobowy obiektu (w chwili $t \in \mathbb{T}$);

o^{ss} – straty sanitarne w stanie osobowym obiektu (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

o^{sso} – straty w stanie osobowym obiektu (w przedziale czasu ΔT);

o^{stan} – wskaźnik stanu obiektu (w chwili $t \in \mathbb{T}$);

o^{tp} – czas rozpoczęcia przez obiekt działań bojowych;

o^{tpmin}, o^{tpmax} – normatywny przedział czasu, po upływie którego ranny z pola walki przybędzie do punktu medycznego o numerze o^{nrp};

$\Phi\mathbb{A}_{z_1}$ – zbiór prawdopodobieństw rozkładu zranień, ze względu na obszary anatomiczne, dla czynnika urazogennego $z_1 \in \mathbb{Z}_1$;

$p^{OA}_{z_2} \in \Phi\mathbb{A}_{z_1}$ – prawdopodobieństwo zranienia obszaru anatomicznego o numerze $z_2 \in \mathbb{Z}_{2.z_1}$ wywołanego czynnikiem urazogennym o numerze $z_1 \in \mathbb{Z}_1$;

$\mathbb{P}^{PR}_{z_2}$ – zbiór prawdopodobieństw rozkładu zranień obszaru anatomicznego o numerze $z_2 \in \mathbb{Z}_{2.z_1}$ na profile;

$p^{PR}_{z_4} \in \mathbb{P}^{PR}_{z_2}$ – prawdopodobieństwo, że zranienie obszaru anatomicznego o numerze $z_2 \in \mathbb{Z}_{2.z_1}$ będzie o profilu $z_4 \in \mathbb{Z}_4$;

$\mathbb{P}^{SC}_{z_2}$ – zbiór prawdopodobieństw rozkładu zranień obszaru anatomicznego o numerze $z_2 \in \mathbb{Z}_{2.z_1}$ na stopnie ciężkości;

$p^{sc}_{z_3} \in \mathbb{P}^{sc}_{z_2}$ – prawdopodobieństwo, że zranienie obszaru anatomo numerze $z_2 \in \overline{\overline{\mathbb{Z}}}_{z_3,z_1}$ będzie o stopniu ciężkości $z_3 \in \overline{\overline{\mathbb{Z}}}_{z_3}$;

P_n – charakterystyki (atrybuty) punktu medycznego o numerze $n \in \mathbb{N}$;

p^{dlmax} – maksymalna odległość punktu medycznego od przedniego skraju;

p^{dlmin} – minimalna odległość punktu medycznego od przedniego skraju;

$p^{dmax}_{l_w}$ – maksymalna odległość rozwinięcia punktu od przedniego skraju dla rodzaju walki o numerze $l_w \in \mathbb{L}_w$;

$p^{dmin}_{l_w}$ – minimalna odległość rozwinięcia punktu od przedniego skraju dla rodzaju walki o numerze $l_w \in \mathbb{L}_w$;

p^{dr} – względna odległość rozwinięcia punktu (w chwili $t \in \mathbb{T}$) odniesiona do położenia obiektu w chwili T^p – rozpoczęcia działań;

p^{kpm} – numer klasy punktu medycznego;

p^{lrew} – liczba rannych wyewakuowanych z punktu medycznego (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

p^{lrp} – liczba rannych przebyłych do punktu (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

p^{lrup} – liczba rannych, którzy otrzymali w punkcie pomoc medyczną (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

p^{lprz} – liczba przebazowań punktu medycznego;

p^{nrw} – numer wariantu modelu struktury punktu medycznego;

p^{obmax} – maksymalna liczba rannych jaką może przyjąć punkt medyczny;

p^{stan} – wskaźnik stanu punktu medycznego;

p^{to} – czas rozpoczęcia pracy punktu w rejonie rozwinięcia;

p^{top} – czas oczekiwania na rozpoczęcie pracy w rejonie rozwinięcia (od chwili osiągnięcia stanu gotowości);

p^{tpmin}, p^{tpmax} – normatywny przedział czasu po upływie, którego ranny powinien przybyć z pola walki do punktu;

p^{tpr} – czas pracy punktu w miejscu rozwinięcia;

p^{tprmax} – maksymalny czas pracy punktu w miejscu rozwinięcia;

p^{tprz} – czas przebazowania i odtwarzania przez punkt gotowości do pracy w nowym rejonie rozwinięcia;

$p^{tprzmin}, p^{tprzmax}$ – normatywny przedział czasu na przebazowanie punktu i odtworzenie gotowości;

p^{tupmax} – maksymalny czas, po upływie którego ranny powinien otrzymać w punkcie medycznym pomoc;

p^{zpom} – zakres pomocy medycznej (ustalony dla punktu na okres pracy w miejscu rozwinięcia);

$P_{<l_m, z_1, z_2, z_3, z_4>, m^*} \in \mathbb{PW}_m$ – prawdopodobieństwo wyboru m^*-tego elementu do obsługi rannego, jeżeli ranny przebywał w m-tym elemencie punktu ($m^* \in H(m)$; $m^*, m \in \mathbb{M}_n$; $n \in \mathbb{N}$) przy $<l_m, z_1, z_2, z_3, z_4> \in \mathbb{L}_m \times \mathbb{Z}_1 \times \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_3 \times \mathbb{Z}_4$;

$\mathbb{PCU}_{<GSR, l_w>}$ – zbiór prawdopodobieństw rozkładu urazów na czynniki urazogenne dla $<GSR, l_w> \in 2^{\mathbb{L}_r} \times \mathbb{L}_w$;

$PCU_{<GSR, l_w>, z_1} \in \mathbb{PCU}_{<GSR, l_w>}$ – prawdopodobieństwo, że przyczyną zranienia jest czynnik urazogenny $z_1 \in \mathbb{Z}_1$ dla danej pary $<GSR, l_w> \in 2^{\mathbb{L}_r} \times \mathbb{L}_w$;

$\mathbb{PM}$ – zbiór punktów medycznych;

PM_n – opis punktu medycznego o numerze $n \in \mathbb{N}$;

$\mathbb{PWE}^*_n$ – rodzina zbiorów z prawdopodobieństwami wyboru elementów do obsługi rannego dla punktu medycznego PM_n;

$\mathbb{PW}_m \in \mathbb{PWE}^*_n$ – zbiór z rozkładami prawdopodobieństw wyboru następnego elementu do obsługi rannego, jeżeli ranny znajduje się w elemencie $m \in \mathbb{M}_n$ punktu medycznego PM_n;

$\mathbb{PWH}_{<z_1, z_2, z_3>}$ – zbiór z prawdopodobieństwami rozkładu rannych (o określonym zranieniu) na szpitale dla $<z_1, z_2, z_3> \in \mathbb{Z}_1 \times \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_3$;

$PWH_z \in \mathbb{PWH}_{<z_1, z_2, z_3>}$ – prawdopodobieństwo wyboru z-tego szpitala ($z \in \mathbb{Z}_{sz}$) dla rannego o zranieniu $<z_1, z_2, z_3> \in \mathbb{Z}_1 \times \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_3$;

$\mathbb{R}$ – zbiór opisów rannych;

R_j – opis rannego o numerze $j \in \mathbb{J}$;

r^{cr} – numer stopnia ciężkości zranienia;

r^{nre} – numer elementu punktu medycznego, w którym przebywa ranny;

r^{nro} – numer obiektu macierzystego rannego;

r^{nrp} – numer punktu medycznego, w którym przebywa ranny;

$r^{nrp}_{l_p}$ – numer punktu medycznego klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$, w którym udzielono pomocy rannemu;

r^{oa} – numer obszaru anatomicznego zranienia;

r^{pew} – numer pozycji rannego podczas ewakuacji;

r^{prio} – priorytet obsługi rannego w SZLE;

r^{prof} – numer profilu zranienia;

$r^{rpom}_{l_p}$ – numer rodzaju pomocy udzielonej rannemu w punkcie medycznym klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$;

r^{sr} – numer czynnika urazogennego – przyczyny zranienia;

r^{stan} – wskaźnik stanu rannego;

r^{str} – numer klasy środka transportu do ewakuacji rannego;

$r^{tew}_{l_p}$ – czas ewakuacji rannego z punktu medycznego klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$ do punktu nadrzędnego;

$r^{toew}_{l_p}$ – czas oczekiwania rannego w punkcie medycznym klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$ na ewakuację;

$r^{tpob}_{l_p}$ – czas pobytu rannego w punkcie klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$;

$r^{tpom}_{l_p}$ – czas udzielenia rannemu pomocy w punkcie medycznym (w odniesieniu do czasu zranienia);

$r^{tprz}_{l_p}$ – czas przybycia rannego do punktu (w odniesieniu do czasu zranienia);

r^{tzo} – czas obsługi rannego lub czas oczekiwania rannego na obsługę, w elemencie punktu medycznego:

- jeżeli $r^{tzo} < 0$, to $|r^{tzo}|$ jest czasem udzielania pomocy rannemu przez element punktu medycznego,
- jeżeli $r^{tzo} \geq 0$, to r^{tzo} oznacza czas oczekiwania rannego w kolejce do obsługi;

r^{tzr} – czas powstania zranienia;

$\$_n$ – zbiór numerów środków transportu sanitarnego punktu medycznego o numerze $n \in \mathbb{N}$;

$s, s' \in \mathbb{S}_n$ – numer środka transportu sanitarnego;

$\mathbb{SO}^*_n$ – zbiór wszystkich stanowisk obsługi elementów punktu medycznego PM_n;

$\mathbb{SO}_m \in \mathbb{SO}^*_n$ – zbiór stanowisk obsługi elementu E_m ($m \in \mathbb{M}_n$) punktu medycznego o numerze $n \in \mathbb{N}$;

so^{tow} – łączny czas oczekiwania stanowiska obsługi na przybycie rannych (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

so^{tor} – łączny czas oczekiwania rannych na obsługę przez stanowisko obsługi (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

so^{tzo} – czas zajętości stanowiska obsługi wykonywaniem czynności leczniczych, lub czas oczekiwania stanowiska obsługi na przybycie rannego:

- jeżeli $so^{tzo} < 0$ to $|so^{tzo}|$ jest czasem (zajętości stanowiska) wykonywania czynności leczniczych,
- jeżeli $so^{tzo} \geq 0$ – oznacza czas oczekiwania stanowiska na przybycie rannego;

so^{tzw} – łączny czas wykonywania czynności leczniczych na stanowisku obsługi (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

$\mathbb{ST}^*$ – zbiór środków transportu sanitarnego SZLE;

$\mathbb{ST}_n \in \mathbb{ST}^*$ – zbiór środków transportu sanitarngo punktu PM_n;

st^{kl} – numer klasy środka transportu;

st^{km} – łączna liczba kilometrów przejechanych przez środek transportu (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

st^{lm1} – liczba miejsc w środku transportu do ewakuacji rannych w pozycji leżącej;

st^{lmw} – liczba miejsc w środku transportu do ewakuacji rannych w pozycji siedzącej;

st^{lr} – łączna liczba rannych wyewakuowana środkiem transportu (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

st^{kl} – numer klasy środka transportu ($st^{kl} \in \mathbb{L}_{st}$);

st^{stan} – wskaźnik stanu w jakim znajduje się środek transportu (w chwili $t \in \mathbb{T}$)

st^{tm} – łączny czas przebywania środka transportu w stanie awarii (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

st^{tg} – łączny czas przebywania środka transportu w stanie gotowości do wyjazdu po rannych (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

st^{to} – sumaryczny czas oczekiwania na rannych (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

st^{tum} – średni czas usunięcia awarii;

st^{tz} – sumaryczny czas jazdy środka transportu (do chwili $t \in \mathbb{T}$);

st^{tzo} – czas zajętości środka transportu (jazdą, awarią) lub czas oczekiwania (na rannych):

- jeżeli $st^{tzo} < 0$, to $|st^{tzo}|$ oznacza czas jazdy lub czas awarii środka transportu,
- jeżeli $st^{tzo} \geq 0$ – oznacza czas oczekiwania środka transportu;

st^{v} – średnia prędkość jazdy środka transportu;

st^{ww} – współczynnik awaryjności środka transportu;

st^{wz} – współczynnik zapełnienia rannymi środka transportu;

SZLE – model systemu zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego;

$\mathbb{T}$ – przedział czasu badania SZLE;

$t, t', t'' \in \mathbb{T}$ – czas bieżący (chwila);

T^{p} – czas rozpoczęcia działań bojowych;

T^{k} – czas zakończenia obsługi rannych w SZLE;

$\mathbb{U}$ – zbiór numerów kryterów do klasyfikacji strat sanitarnych;

$u \in \mathbb{U}$ – numer kryterium klasyfikacji strat sanitarnych;

$v_{l_{mm}}$ – prędkość jazdy środka transportu klasy l_{mm};

$\mathbb{WPM}^{*}$ – zbiór modeli struktur funkcjonalnych punktów medycznych;

$\mathbb{WPM}_{l_p} \in \mathbb{WPM}^{*}$ – zbiór modeli struktur funkcjonalnych punktów medycznych klasy $l_p \in \mathbb{L}_p$;

$\mathbb{Z}_1$ – zbiór numerów czynników urazogennych;

$z_1 \in \mathbb{Z}_1$ – numer czynnika urazogennego;

$\mathbb{Z}_{2,z_1}$ – zbiór numerów obszarów anatomicznych, na które może niszcząco oddziaływać czynnik urazogenny o numerze $z_1 \in \mathbb{Z}_1$;

$z_2 \in \mathbb{Z}_{2,z_1}$ – numer uszkodzonego obszaru anatomicznego przez czynnik urazogenny $z_1 \in \mathbb{Z}_1$;

$\mathbb{Z}_3$ – zbiór numerów stopni ciężkości zranienia;

$z_3 \in \mathbb{Z}_3$ – numer stopnia ciężkości zranienia;

$\mathbb{Z}_4$ – zbiór numerów profili zranienia;

$z_4 \in \mathbb{Z}_4$ – numer profilu zranienia;

$\mathbb{Z}_{rz}$ – zbiór numerów zdarzeń {zabity,ranny};

$\mathbb{Z}_{sz}$ – zbiór numerów szpitali;

$\mathbb{Z}_u$ – zbiór numerów jednorodnych grup strat sanitarnych dla kryterium podziału o numerze $u \in \mathbb{U}$;

$\Gamma_o \subseteq \mathbb{O} \times \mathbb{O}$ – relacja podporządkowania organizacyjnego obiektów określająca dla każdego obiektu zbiór obiektów podległych;

Γ_o^{-1} – funkcja odwrotna do Γ_o, określająca dla danego obiektu obiekt nadrzędny;

$\Gamma_p \subseteq \mathbb{PM} \times \mathbb{PM}$ – relacja podporządkowania organizacyjnego punktów medycznych;

Γ_p^{-1} – funkcja odwrotna do Γ_p, określająca dla danego punktu medycznego punkt nadrzędny;

$\Gamma_T \subseteq \mathbb{ST}^* \times \mathbb{ST}^*$ – relacja podporządkowania organizacyjnego środków transportu sanitarnego;

ΔT – przedział czasu po upływie, którego wprowadza się dane do modelu, a model może przekazywać wyniki;

Δt – przyrost czasu symulacyjnego;

τ_s^{sw} – czas usunięcia awarii środka transportu o numerze $s \in \mathbb{S}_n$;

τ^{przeb} – czas przebazowania i odtwarzania gotowości punktu medycznego do pracy w nowym miejscu;

$\tau_{n',n}^{rp}$, $\tau_{n,n'}^{rp}$ – czas jazdy środka transportu pomiędzy punktami medycznymi o numerach $n',n \in \mathbb{N}$;

τ^{zran} – czas zranienia żołnierza;

τ^{pdpm} – czas przybycia rannego z pola walki do pierwszego punktu SZLE;

τ^{so} – czas zajętości stanowiska obsługi udzielaniem pomocy;

τ^{zmjr} – czas zajętości rannego na stanowisku obsługi;

$\wedge$ – funktor koniunkcji (logiczne i);

$\Rightarrow$ – funktor implikacji;

$\bigwedge$ – kwantyfikator ogólny "dla każdego...";

$\bigvee$ – kwantyfikator szczegółowy, "istnieje takie, że...";

$\{ x : \mathcal{P}(x) \}$ – zbiór wyznaczony przez formę zdaniową $\mathcal{P}(x)$;

$\{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ – zbiór o elementach $a_1, a_2, \ldots, a_n$;

$\in$ – symbol należenia elementu do zbioru ($x \in \mathbb{X}$ – x jest elementem zbioru $\mathbb{X}$);

$\bigcup$ – symbol sumy zbiorów;

$\mathbb{X} \times \mathbb{Y}$ – iloczyn kartezjański zbiorów $\mathbb{X}$ i $\mathbb{Y}$;

$\overline{\mathbb{X}}$ – liczność zbioru $\mathbb{X}$;

$\subseteq$ – symbol zawierania się (inkluzji zbiorów); $\mathbb{X} \subseteq \mathbb{Y}$ – jest podzbiorem zbioru $\mathbb{Y}$;

$f:\mathbb{X} \longrightarrow \mathbb{Y}$ – f jest odwzorowaniem zbioru $\mathbb{X}$ w zbiór $\mathbb{Y}$;

f^{-1} – odwzorowanie odwrotne do odwzorowania f;

$\equiv$ – relacja równoważności;

$\langle x_1, \ldots, x_n \rangle$ – n-tka elementów;

$2^{\mathbb{X}}$ – zbiór wszystkich podzbiorów zbioru $\mathbb{X}$;

$\mathbb{R}_+$ – zbiór liczb rzeczywistych dodatnich;

$\mathbb{R}_{\langle 0,1 \rangle}$ – zbiór liczb rzeczywistych z przedziału 0,1;

$\mathbb{C}_+$ – zbiór liczb całkowitych dodatnich;

ϕ – zbiór pusty;

Δ – przyrost;

$|a|$ – bezwzględna wartość liczby a;

INT(a) – część całkowita wyrażenia a;

WYKAZ LITERATURY

[1] Antoszkiewicz J. : Metody heurystyczne. PWE. Warszawa. 1982.

[2] Ameliańczyk A. : Optymalizacja wielokryterialna. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa. 1986.

[3] Barton R. F. : Wprowadzenie do symulacji i gier. WNT. Warszawa. 1974.

[4] Benjamin J. R., Cornell C. A. : Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT. Warszawa. 1977.

[5] Bojarski W. W. : Podstawy analizy i inżynierii systemów. PWN. Warszawa. 1984.

[6] Boszkiewicz T. : Sieciowe metody planowania w kierowaniu pracą DPM. Myśl Wojskowa (tajna) nr 1/1977. Warszawa.

[7] Chojnacki A. : Modelowanie matematyczne. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa. 1986.

[8] Cuirreri J. A. : Catalog of Wargaming and Military Simulation Models. Joint Analysis Directorate Organization of the Joint Chiefs of Staff. Washington. 1986.

[9] Dawidowicz W., Dąbrowski B., Filar W., Małecki F. : Kwatermistrzostwo LWP w latach 1943-1945. Wojskowy Instytut Historyczny. Warszawa. 1973.

[10] Evans G. W., Wallace G. F., Sutherland D. L. : Symulacja na maszynach cyfrowych. WNT. Warszawa. 1973.

[11] Filar W., Sienkiewicz P., Barczak A. : Modelowanie symulacyjne działań bojowych (zarys metodyki modelowania). Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1988.

[12] Filar W., Kinasiewicz M., Mańkowski M., Niziołek K., Urbanek M. : Eksperymentalny model procesów walki na szczeblu taktycznym. Wyd. Filia Nr 1. Wojskowy Instytut Informatyki. Warszawa. 1980.

[13] Filar W. : Wprowadzenie do modelowania i symulacji komputerowej w badaniach systemów wojskowych. Zeszyt Naukowy Nr 1/37/84. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa.

[14] Filar W. : Analiza i ocena materiałowo-technicznego i medycznego zabezpieczenia działań zaczepnych 1 Armii WP w operacji berlińskiej. Rozprawa doktorska. Akademia Sztabu Generalnego. Warszawa. 1962.

[15] Filar W. : Metody symulacyjne w modelowaniu procesów operacji i walki. II Szkoła Inżynierii Systemów. Wyd. Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, Komitet Budowy Maszyn PAN. Warszawa. 1979.

[16] Filar W., Barczak A. : Symulacja i gry komputerowe w zastosowaniach wojskowych. Sztab Generalny WP. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa. 1985.

[17] Fishman G. S. : Symulacja komputerowa. PWN. Warszawa. 1981.

[18] Gawryluk J. : Analiza zabezpieczenia leczniczo-ewakuacyjnego armii drugorzutowej w operacji zaczepnej frontu. Rozprawa habilitacyjna. Zakład Organizacji Ochrony Zdrowia Wojsk Centrum Kształcenia Podyplomowego Wojskowej Akademii Medycznej. Warszawa. 1980.

[19] Gawryluk J. : Kompendium lekarza jednostki. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa 1978.

[20] Gembicki B. : Zasady organizacji zabezpieczenia medycznego wojsk na szczeblu taktycznym. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1980.

[21] Gembicki B., Łojko A. : Straty sanitarne w działaniach bojowych. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1985.

[22] Gembicki B. : Zabezpieczenie sanitarno-przeciwepidemiczne 1 armii WP - lipiec 1944 - maj 1945. Rozprawa doktorska. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1982.

[23] Godawa R. Gryskowski J. Pruski M. : Model symulacyjny walki i zabezpieczenia medycznego wojsk dywizji zmechanizowanej w podstawowych rodzajach działań bojowych. Rozprawa doktorska. Akademia Obrony Narodowej. Warszawa. 1991.

[24] Gogolewski J. : Model działań wojennych. Założenia i warunki realizacji komputerowj. Rozprawa doktorska. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1988.

[25] Gordon G. : Symulacja systemów. WNT. Warszawa. 1974.

[26] Gutenbaum J. : Modelowanie matematyczne systemów. PWN. Warszawa - Łódź. 1987.

[27] Instrukcja o organizacji i pracy batalionu medycznego. Główne Kwatermistrzostwo WP. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa. 1988.

[28] Instrukcja o organizacji i pracy batalionu medycznego dywizji, medycznego batalionu wzmocnienia, oddziału wzmocnienia segregacji i kompanii hospitalizacyjnej armii. Główne Kwatermistrzostwo WP. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa. 1972.

[29] Instrukcja o organizacji i pracy oddziału zabezpieczenia medycznego armii. Główne Kwatermistrzostwo WP. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa. 1972.

[30] Instrukcja o zabezpieczeniu medycznym ZT (oddziału) w czasie wojny. Główne Kwatermistrzostwo WP. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa. 1976.

[31] Jakubisiak W. : System zabezpieczenia tyłowego pułku, dywizji, armii i frontu w działaniach zaczepnych. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1986.

[32] Kaliwoszka A. : Zabezpieczenie medyczne działań bojowych ZT w warunkach użycia broni masowego rażenia. Przegląd Kwatermistrzowski (tajny) nr 9(11)/1987. Warszawa.

[33] Kilar E. : Modelowanie boju spotkaniowego oddziału. Rozprawa doktorska. Akademia Sztabu Generalnego. Warszawa. 1976.

[34] Kilar E., Kinasiewicz M., Urbanek M., Ciemski Z. : Modelowanie operacji wojsk lądowych (MODEL-2). Dokumentacja programowa i eksploatacyjna. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa 1990.

[35] Kołodziński E. : Symulacyjna metoda badania systemów. Zeszyt nr 3. Ocena adekwatności modeli symulacyjnych działania systemów. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa. 1983.

[36] Korzan B. : Grafy, hipergrafy i sieci. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa. 1980.

[37] Majewski W. : Służba zdrowia 1 Armii WP 1943-1945. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa. 1976.

[38] Martin J. : Podstawy matematyki i statystyki. PZWL. Warszawa. 1972.

[39] Martin F. F. : Wstęp do modelowania cyfrowego. PWN. Warszawa. 1976.

[40] Mrowiec T., Ratajczak M., Wieleba R. : Prognozowanie skutków decyzji podejmowanych w działaniach bojowych z zastosowaniem metody modelowania symulacyjnego. Rozprawa doktorska. Akademia Obrony Narodowej. Warszawa. 1991.

[41] Naylor T. H. : Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych. PWN. Warszawa. 1975.

[42] Nowak E. : Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektow społeczno gospodarczych. PWE. Warszawa. 1990.

[43] Obretenow A., Dimitrow B. : Teoria masowej obsługi. PWN. Warszawa. 1989.

[44] Pałecki B. : O prognozowaniu porażeń psychicznych. Myśl Wojskowa (tajna) nr 3/1977. Warszawa.

[45] Perkowski P. : Technika symulacji cyfrowej. WNT. Warszawa. 1980.

[46] Pięta J. : Straty osobowe wojsk lądowych. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1982.

[47] Praca zbiorowa pod redakcją W. Wójcika : Taktyka ogólna. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1988.

[48] Praca zbiorowa pod redakcją N. P. Fiedorenko : Słownik matematyki i cybernetyki ekonomicznej. PWE. Warszawa. 1985.

[49] Praca zbiorowa pod redakcją W. Findeisena : Analiza systemowa - podstawy metodologiczne. PWN. Warszawa. 1985.

[50] Praca zbiorowa pod red. W. Marciszewskiego : Logika formalna - zarys encyklopedyczny z zastosowaniem do informatyki i lingwistyki. PWN. Warszawa. 1987.

[51] Rasiowa H. : Wstęp do matematyki współczesnej. PWN. Warszawa. 1985.

[52] Rajski J., Tyszer J. : Modelowanie i symulacja cyfrowa. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań. 1986.

[53] Sienkiewicz P. : Systemy kierowania. WP. Warszawa. 1987.

[54] Sienkiewicz P. : Inżynieria systemów. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa. 1983.

[55] Sienkiewicz P. : Teoria efektywności systemów kierowania. Rozprawa habilitacyjna. Akademia Sztabu generalnego WP. Warszawa. 1979.

[56] Słowiński A. : Organizacja ochrony zdrowia wojsk na szczeblu taktycznym. Wojskowa Akademia Medyczna. Łódź. 1979.

[57] Słowiński A. : Wpływ broni jądrowej na zabezpieczenie leczniczo-ewakuacyjne ZT WP działających na północno-nadmorskim kierunku działań wojennych. Rozprawa habilitacyjna tom 1. Wojskowa Akademia Medyczna. Łódź. 1970.

[58] Słowiński A. : Metodologia badań sprawności polowego systemu leczniczo-ewakuacyjnego. Lekarz Wojskowy (tajny) nr 1/1980. Warszawa.

[59] Słowiński A. : Badanie sprawności systemu leczniczo--ewakuacyjnego przez lekarzy wojskowych. Lekarz Wojskowy (tajny) nr 1/1982. Warszawa.

[60] Słupecki J., Hałkowa K., Piróg-Rzepecka K. : Logika i teoria mnogości. PWN. Warszawa. 1975.

[61] Sobczyk J. : Zdolność przepustowa DPM - określenie wartości na podstawie badania pracy punktu metodą modelowania matematycznego. Myśl Wojskowa (tajna) nr 3/1977. Warszawa.

[62] Winkowski J. : Programowanie symulacji procesów. WNT. Warszawa. 1974.

[63] Wójtowicz W. : System zabezpieczenia tyłowego. Zarys teorii tyłów wojsk lądowych. Akademia Sztabu Generalnego WP. Warszawa. 1988.

[64] Wojny lokalne i konflikty zbrojne na początku lat osiemdziesiątych. Główny Zarząd Polityczny WP. Warszawa. 1984.

[65] Zawaliszyn N. : Podstawy organizacji zabezpieczenia medycznego działań bojowych wojsk. PZWL. Warszawa. 1964.

[66] Zeigler B. P. : Teoria modelowania i symulacji. PWN. Warszawa. 1984.

[67] Zieliński R. : Generatory liczb losowych. Programowanie i testowanie na maszynach cyfrowych. WNT. Warszawa. 1979.

Druk AON nr 17/WW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 54759
Akademii Obrony Narodowej

Czyt. Rozpr. dokt.

S/1675 1