



## System automatycznego wsparcia triażu wykorzystujący algorytm drzewa decyzyjnego i funkcję szans przeżycia

ANDRZEJ P. DOBROWOLSKI<sup>1</sup>, PAWEŁ OSKWAREK<sup>2</sup>, SZYMON ROKICKI<sup>2</sup>,  
PAWEŁ WIKTORZAK<sup>2</sup>, PIOTR ŁUBKOWSKI<sup>1</sup>, PIOTR MURAWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

<sup>2</sup> Wojskowy Instytut Medyczny — Państwowy Instytut Badawczy, ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa  
andrzej.dobrowolski@wat.edu.pl, poskwarek@wim.mil.pl

**Streszczenie.** Zdarzenia z dużą liczbą poszkodowanych są elementem nieodłącznie związanym z działaniami na polu walki. Różnica między triażem stosowanym na polu walki i tym dotyczącym cywilnych wypadków o charakterze masowym wynika bezpośrednio ze specyfiki zdarzenia i założonych celów. Podczas konfliktów zbrojnych priorytetem jest zrealizowanie postawionych zadań i celów. Z punktu widzenia dowodzenia misja ratowania poszkodowanych odbywa się w dużej mierze po to, by mogli oni jak najszybciej wrócić do dalszych działań — priorytetem na polu walki jest wykonanie misji, a nie ratowanie wszystkich rannych. W trakcie konfliktów zbrojnych siły i środki zawsze będą ograniczone, a ewakuacja poszkodowanych będzie musiała się odbywać wieloetapowo lub będzie wydłużona w czasie. Ratownicy często mają do czynienia z przedłużającą się opieką na polu walki i są zmuszeni zajmować się rannymi dużo dłużej niż podczas cywilnych zdarzeń o charakterze masowym. Implementacja nowych rozwiązań technologicznych minimalizujących potencjalny błąd ludzki, gromadzących i automatycznie analizujących dane medyczne w czasie rzeczywistym, umożliwi — szczególnie w teatrze działań wojennych — szybszą identyfikację stanu poszkodowanych i wyznaczenie priorytetów. Obecnie, gdy wojna przybiera zupełnie inną formę, należy szukać rozwiązań, które dadzą szansę przeżycia rannym. Priorytetem w przypadku zdarzeń o charakterze masowym staje się jak najszybsza ocena parametrów życiowych. Pozwala to na celowane udzielenie pomocy i ma zmniejszyć śmiertelność poszkodowanych oraz dać szansę dotarcia specjalistycznej pomocy. Wykorzystanie sztucznej inteligencji umożliwi zoptymalizowanie działań ratowników już na etapie docierania na miejsce zdarzenia. W artykule przedstawiono nowatorski algorytm segregacji uwzględniający wartość tzw. *funkcji szans przeżycia*, który jest elementem systemu wspomaganie decyzji ewakuacji medycznej opartego na integracji monitoringu i analizy parametrów życiowych żołnierza z systemem zabezpieczenia medycznego.

**Słowa kluczowe:** parametry życiowe, triaż, sieć wektorów wspierających

DOI: 10.5604/01.3001.0053.6743

## 1. Wprowadzenie

W artykule scharakteryzowano parametry życiowe człowieka najistotniejsze z punktu widzenia triażu oraz dokonano przeglądu systemów triażu stosowanych praktycznie — w warunkach cywilnych zdarzeń o charakterze masowym oraz w trakcie konfliktów zbrojnych. Przedstawiono również proponowany do zastosowania w Siłach Zbrojnych RP algorytm klasyfikacji w konwencji drzewa decyzyjnego oraz definicję i właściwości tzw. *funkcji szans przeżycia*. W zaproponowanym algorytmie uwzględniono możliwość braku jednego lub kilku sygnałów niosących informacje o parametrach życiowych. Przedstawiony algorytm jest elementem opracowywanego systemu wspomagania decyzji ewakuacji medycznej opartego na integracji monitoringu parametrów życiowych żołnierza z systemem zabezpieczenia medycznego. Komponent pomiarowy, zawierający osobisty analizator wybranych parametrów życiowych żołnierza, ma dostarczyć kluczowe parametry diagnostyczne, a będący przedmiotem tego artykułu komponent analizy i wnioskowania, na podstawie tych parametrów, ma zarekomendować operatorowi systemu ocenę stanu zdrowia żołnierza oraz wesprzeć go w procesie podejmowania decyzji o ewakuacji medycznej. W trakcie konfliktów zbrojnych siły i środki zawsze będą ograniczone, a ewakuacja poszkodowanych będzie musiała się odbywać wieloetapowo lub zostanie wydłużona w czasie. Ratownicy często mają do czynienia z przedłużającą się opieką na polu walki i są zmuszeni zajmować się rannymi dużo dłużej niż podczas cywilnych zdarzeń o charakterze masowym. Wykorzystanie najnowszych dostępnych metod gromadzenia i przetwarzania danych medycznych w celu optymalizacji triażu niewątpliwie pozwala ukierunkować postępowanie medyków na pacjenta. Określenie dobrostanu żołnierza na etapie dotarcia do poszkodowanego pozwala zyskać czas, który jest kluczowy dla przeżycia poszkodowanych.

## 2. Charakterystyka parametrów życiowych

W rozdziale przedstawiono charakterystykę głównych parametrów życiowych człowieka, takich jak tętno, oddech, ciśnienie tętnicze, temperatura ciała, saturacja tlenem oraz ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla, w kontekście zastosowania w procedurach segregacji osób poszkodowanych w wypadkach masowych, w szczególności żołnierzy na polu walki.

## 2.1. Tętno

Tętno to rytmiczne podnoszenie i zapadanie się ścian tętnic spowodowane przepływem krwi wyrzucanej podczas skurczu serca.

Cechy tętna [1]:

- *częstotliwość* — liczba uderzeń wyczuwanych w ciągu minuty. W czasie badania trzeba pamiętać, że nie należy badać tętna po wysiłku fizycznym (po dużym wysiłku fizycznym częstotliwość może przekraczać nawet 200 uderzeń/min) lub w stanie przeżyć emocjonalnych. Tętno może być częste (*pulsus frequens*) lub rzadkie (*pulsus rarus*). Wartości prawidłowe zależą głównie od wieku [2]:
  - u płodu: 130-140 uderzeń/min;
  - u rocznego dziecka: 110-130 uderzeń/min;
  - u dorosłych: 60-100 uderzeń/min;
- *miarowość* — tętno jest miarowe (*pulsus regularis*), jeśli wszystkie uderzenia wykazują jednakową siłę, a odstępy między nimi są jednakowe, w przeciwnym razie mówimy o tętnie niemiarowym (*pulsus irregularis*);
- *wypełnienie* — określa wysokość fali tętna i zależy od wypełnienia tętnicy krwią, co z kolei jest zależne od rzutu serca, czyli objętości krwi, jaką serce tłoczy w ciągu jednej minuty do naczyń krwionośnych. Tętno może być wysokie (duże) — *pulsus altus*, *pulsus magnus*; niskie (małe) — *pulsus parvus*; nitkowate, równe — *pulsus equalis*; nierówne i dziwaczne — *pulsus paradoxus*;
- *napięcie* — cecha tętna będąca wyrazem ciśnienia tętniczego. Tętno może być twarde — *pulsus durus*; miękkie — *pulsus mollis* bądź dwubitne;
- *chybkość* — zależy od szybkości wypełniania się tętnicy i zapadania jej światła w okresie jednego cyklu pracy serca, a także od prędkości przepływu krwi i podatności ściany tętnic. Tętno może być chybkie — *pulsus celer* lub leniwe — *pulsus tardus*;
- *symetria* — fizjologicznie tętno powinno być takie samo po lewej i prawej stronie ciała (np. na lewej tętnicy promieniowej i na prawej).

Tętno może być przyspieszone lub zwolnione w zależności od wielu czynników. Przyspieszeniu ulega podczas wysiłku, w stresie, podczas wstrząsu, po stosowaniu używek, przy reakcjach emocjonalnych, wysokiej gorączce, w krwotoku, w chorobach serca. Tętno ulega zwolnieniu w przypadku: snu, wypoczynku, po posiłku, u sportowców płetwonurków, po stosowaniu niektórych leków, w niektórych chorobach serca, w urazach głowy.

- *Tachykardia* — przyspieszenie tętna powyżej 100 uderzeń/min.
- *Bradycardia* — zwolnienie akcji serca poniżej 60 uderzeń/min.

## 2.2. Oddech

Celem procesu oddychania jest zaopatrywanie organizmu w tlen oraz odprowadzanie dwutlenku węgla. Ma on dwie fazy: wdech, podczas którego powietrze wprowadzane jest do płuc w trakcie skurczu mięśni, wydech — bierne zmniejszenie się objętości klatki piersiowej. Prawidłowy oddech jest regularny, wykonywany bez wysiłku, bez szmerów patologicznych, równomiernie głęboki, bez zapachu, klatka piersiowa obustronnie unosi się i opada. Oceniając oddech u pacjenta, należy zwracać uwagę na: częstość oddechów, ich głębokość, liczbę, szmery oddechowe i rytm oddechu.

Wartości prawidłowe:

- noworodek: 40-50 oddechów/min;
- małe dziecko: 18-25 oddechów/min;
- u dorosłych: 8-30 oddechów/min.

Oddech patologiczny to bezdech, oddech zwolniony, oddech z uruchamianiem dodatkowych mięśni oddechowych, oddech przyspieszony. Dodatkowo możliwe jest wystąpienie zaburzenia typu utrudniony wdech (duszność wdechowa) lub utrudniony wydech (duszność wydechowa).

Słyszalne szmery oddechowe:

- szmer pęcherzykowy obustronny — prawidłowy;
- świsty — ciało obce, zwężenie dróg oddechowych, m.in. astma oskrzelowa;
- furczenia — np. astma oskrzelowa, zapalenie oskrzeli;
- rżżenia — np. obrzęk płuc;
- trzeszczenia — np. zapalenie płuc.

Zapach wydychanego powietrza:

- bez zapachu — prawidłowy;
- gorzkie migdały — zatrucie cyjankami;
- aceton — śpiączka cukrzycowa (hiperglikemia);
- woń alkoholu, amoniaku;
- zapach nikotyny.

Nieprawidłowe rytmy oddechowe [3]:

- *Oddech Cheyne'a-Stokesa* (oddech periodyczny) — patologiczny tor oddychania, polegający na występowaniu bezdechów trwających kilkanaście sekund, po których pojawia się coraz szybszy i głębszy oddech, następnie po osiągnięciu maksimum ulega stopniowemu zwolnieniu i spłyceniu, aż do kolejnego epizodu bezdechu. Jest związany z niewydolnością ośrodka oddechowego, który jest wrażliwy na stężenie dwutlenku węgla. W momencie wystąpienia bezdechu wzrasta jego stężenie, co powoduje pobudzenie ośrodka oddechowego oraz pojawienie się coraz szybszego i głębszego oddychania. Po zmniejszeniu stężenia dwutlenku węgla we krwi zmniejsza

się pobudzenie ośrodka oddechowego, co sprawia, że oddech zwalnia aż do jego zatrzymania, co znów powoduje narastanie stężenia CO<sub>2</sub> i rozpoczęcie następnego cyklu oddychania. Oddech ten występuje w niewydolności krążenia, obustronnych uszkodzeniach ośrodkowego układu nerwowego powyżej poziomu mostu, w zatruciach opiatami i barbituranami.

- *Oddech Biota* — określenie stosowane dla zupełnie niemiernego trybu oddechowego. Okresy bezdechów (10-30 sekund) są przerywane zupełnie bezładnym rytmem oddechowym, poszczególne oddechy różnią się częstością i głębokością. Występuje w schorzeniach i urazach ośrodkowego układu nerwowego obejmujących rdzeń przedłużony i znajdujący się w nim ośrodek oddechowy. Jest poważnym i źle rokującym objawem. Stosunkowo często pojawia się w stanach agonalnych i może przejść w bezdech.
- *Oddech Kussmaula* — patologiczny tor oddychania polegający na bardzo głębokim oddychaniu przy normalnej lub zwiększonej częstości; jedna z form hiperwentylacji. Pojawia się m.in. w ketonowej śpiączce cukrzycowej, mocznicy, kwasicy metabolicznej. Określany też jako „oddech gonionego psa” lub „oddech kwasiczny”.

### 2.3. Ciśnienie tętnicze

To ciśnienie wywierane przez krew na ścianki tętnic, przy czym pod tą nazwą rozumie się ciśnienie w największych tętnicach, np. w tętnicy w ramieniu. Jest ono wyższe niż ciśnienie krwi wywierane na ścianki żył. Ciśnienie krwi ulega ustawicznym zmianom, zarówno długookresowym (co związane jest z wiekiem, stanem zdrowia itp.), średniookresowym (zależnie od pory doby, aktywności, stanu psychicznego, spożytych używek itp.), jak i krótkookresowym (w obrębie cyklu pracy serca). W momencie skurczu serca, kiedy porcja krwi jest wypychana z serca do aorty, w tętnicach panuje najwyższe ciśnienie, wynoszące zazwyczaj u zdrowego dorosłego człowieka od ok. 90 do 135 mm Hg (zazwyczaj 110-130); w chwili rozkurczu jest najniższe, np. od ok. 50 do 90 mm Hg (zazwyczaj 65-80). W praktyce medycznej do oceny stanu zdrowia badanej osoby istotna jest wartość zarówno ciśnienia skurczowego (*systoliczne*), jak i rozkurczowego (*diastoliczne*), więc podawane są obie wartości, co zapisuje się np. 120/80 mm Hg. Wartość międzyszczytowa ciśnienia krwi, czyli różnica między ciśnieniem skurczowym a rozkurczowym, wynosi w warunkach fizjologicznych 30-50 mm Hg [4].

Wartości prawidłowe:

- ciśnienie optymalne: < 120 mm Hg (ciśnienie skurczowe), < 80 mm Hg (ciśnienie rozkurczowe);
- ciśnienie prawidłowe: < 139 mm Hg (ciśnienie skurczowe), < 89 mm Hg (ciśnienie rozkurczowe).

Pomiar ciśnienia krwi powinien być wykonywany w spokoju i w pozycji siedzącej, po co najmniej trzyminutowym odpoczynku. Ramię, na którym dokonywany będzie pomiar, powinno być wolne od uciskających ubrań (koszul, swetrów itp.), swobodnie oparte o podłoże, nie należy napinać ręki. Mankiet do pomiaru ciśnienia tętniczego krwi powinien znajdować się 2-3 palce nad zgięciem łokciowym. Istotny jest sposób zawiązania mankieta na ramieniu — nie powinien krępować ramienia, a jednocześnie nie może z niego spadać.

Jeżeli ciśnienie skurczowe spadnie poniżej 60 mm Hg (np. wstrząs), ocena metodą opisaną wyżej może być nieskuteczna lub niemożliwa.

#### 2.4. Temperatura ciała

Temperatura ciała człowieka w dużej mierze zależy od miejsca pomiaru, pory dnia oraz poziomu aktywności pacjenta. Wbrew powszechnej opinii nie istnieje jedna stała wartość temperatury ciała dla wszystkich ludzi. Warunkiem prawidłowego funkcjonowania organizmu jest utrzymanie środowiska wewnętrznego dzięki mechanizmom termoregulacyjnym. Normalna temperatura ciała zdrowego człowieka (mierzona pod pachą) waha się w granicach 36,0-37,2°C. Jest nieco wyższa, gdy pomiar dokonywany jest w ustach lub odbytnicy (o ok. 0,5°C).

Ośrodek termoregulacji znajduje się w ośrodkowym układzie nerwowym. Nadmiar ciepła odprowadzany jest przez skórę (pocenie się), układ oddechowy, przewód pokarmowy. Niedobór ciepła w organizmie objawia się zwężeniem naczyń, ograniczeniem wydalania potu, dreszczami, drżeniami mięśniowymi.

Stany człowieka związane z temperaturą (ciepłotą ciała):

- *normotermia* — to stan prawidłowej ciepłoty ciała 36,6 ± 0,6°C;
- *hipertermia* — podwyższenie ciepłoty ciała powyżej 37,0°C;
- *hipotermia* — poniżej 36,0°C — pacjent urazowy, poniżej 35,0°C — hipotermia „miejska — przypadkowa”.

Rodzaje gorączki:

- granica normy: 37,2°C,
- stan podgorączkowy: 37,3-37,7°C,
- gorączka lekka: 37,8-38,5°C,
- gorączka umiarkowana: 38,6-39,0°C,
- gorączka wysoka: 39,1-39,9°C,
- gorączka bardzo wysoka: 40°C oraz wyżej.

Objawy — odczuwane przez pacjenta:

- uczucie gorąca,
- pieczenie,
- suchość w jamie ustnej,
- senność,
- brak apetytu,

- osłabienie i znużenie,
- niepokój,
- ból mięśni,
- złe samopoczucie.

Miejsca dokonywania pomiaru:

- dół pachowy,
- pachwina (małe dzieci),
- jama ustna (różnica  $0,3^{\circ}\text{C}$ ),
- czoło,
- lewa lub prawa skroń (pomiar bezdotykowy),
- ucho — błona bębenkowa,
- odbył (różnica  $0,5^{\circ}\text{C}$ ),
- 1/3 dolnej części przęłyku — ocena temperatury głębokiej.

## 2.5. Saturacja tlenem

Najbardziej powszechnym pomiarem saturacji krwi tlenem (nasylenia krwi tętniczej tlenem) w działaniach medycznych jest pomiar saturacji metodą pulsoksymetrii. Istotne jest zwłaszcza monitorowanie stanu pacjenta w trakcie znieczulenia ogólnego podczas zabiegów medycznych, w trakcie tlenoterapii i w przypadku ciężkiego stanu chorego. Pomiar oznacza procent związania hemoglobiny we krwi z tlenem (zawartości oksyhemoglobiny). Oznaczenie wartości saturacji wyraża się skrótem „Sp”, z chemicznym symbolem gazu, np. tlenu „O<sub>2</sub>”, oraz procentowym wynikiem badania. Pomiar saturacji wykonywany jest pulsoksymetrem i opiera się na zasadzie absorpcji światła charakterystycznej dla oksyhemoglobiny. U osób palących tytoń wartości te są nieco niższe. Saturacja poniżej 90% oznacza niedotlenienie, które może być spowodowane m.in. przez niedokrwistość (anemię). Objawem niskiego SpO<sub>2</sub> jest sinica. Zakres wartości prawidłowej to 94-98% i więcej.

## 2.6. Ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla EtCO<sub>2</sub>

Pomiar końcowo-wydechowego dwutlenku węgla (EtCO<sub>2</sub> — *end-tidal carbon dioxide*) znajduje liczne zastosowania w warunkach przedszpitalnych i wewnątrzszpitalnych. Intubacja pacjenta urazowego lub wchodzącego we wstrząs anafilaktyczny w warunkach zespołu ratownictwa medycznego lub SOR zdecydowanie różni się od intubacji pacjenta przygotowanego do planowej operacji w warunkach sali operacyjnej (pacjent na czczo, dobre warunki do intubacji — odpowiednie oświetlenie i wysokość stołu, preoksygenacja, możliwość wezwania bardziej doświadczonego anestezjologa w przypadku przewidywanej trudnej intubacji, a także wiele alternatywnych metod udrażniania dróg oddechowych). EtCO<sub>2</sub> ponadto służy do oceny wysokiej jakości RKO (resuscytacji krążeniowo-oddechowej).



Pacjenta „ratunkowego” zawsze należy traktować jako pacjenta z pełnym żołądkiem, co więcej — niekorzystne warunki zewnętrzne (np. hałas) czy różnorodna grupa pacjentów i stanów zagrożenia zdrowia i życia wymagają, poza wnikliwą oceną kliniczną, pomiaru EtCO<sub>2</sub> w celu ostatecznego potwierdzenia prawidłowego położenia rurki intubacyjnej (*ET — Endotracheal Tube*). Ze względu na konieczność szybkiego wychwycenia pogorszenia się stanu poszkodowanego, a także w celu zapobieżenia potencjalnie śmiertelnym skutkom manipulacji personelu medycznego (np. wysunięcia się rurki intubacyjnej w trakcie przenoszenia pacjenta), pomiar końcowo-wydechowego dwutlenku węgla powinien być rozważony zawsze, oczywiście pod warunkiem dostępności odpowiedniego sprzętu pomiarowego.

Na rynku dostępne są rozmaite urządzenia pozwalające mierzyć poziom końcowo-wydechowego dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu. Różnią się nie tylko ceną, ale przede wszystkim metodą pomiaru, a przez to dokładnością i możliwością stosowania w mniejszej lub większej liczbie przypadków.

### *Kolorymetria*

Detektory kolorymetryczne są prostymi urządzeniami jednorazowego użytku, w których do wykrywania dwutlenku węgla stosuje się papierek lakmusowy. W zależności od stężenia dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu papierek zabarwia się na kolor fioletowy (EtCO<sub>2</sub> < 0,5%), brązowy (EtCO<sub>2</sub> w zakresie 0,5-2%) lub żółty (EtCO<sub>2</sub> > 2%). Przytomny, wydolny krążeniowo i oddechowo, nieobciążony pacjent wydycha około 4% CO<sub>2</sub>. Detektory kolorymetryczne znajdują zastosowanie m.in. w potwierdzaniu położenia rurki intubacyjnej u pacjentów z dobrą perfuzją. Jednak w przypadku nagłego zatrzymania krążenia, ze względu na bardzo mały rzut serca, a co za tym idzie ilość oddawanego dwutlenku węgla, przyrządy te mogą być mało użyteczne.

Obecność dwutlenku węgla w powietrzu wydychanym po wykonaniu sześciu oddechów wskazuje na umieszczenie rurki w tchawicy, a więc omyłkowa intubacja przełyku oraz wykonanie sześciu oddechów w celu oceny zabarwienia się papierka mogą doprowadzić do katastrofalnego w skutkach rozdęcia żołądka, regurgitacji — czyli biernego przesunięcia treści pokarmowej z żołądka do przełyku, bez odruchu wymiotnego — i przedostania się treści żołądkowej do płuc. Warto wspomnieć, że detektory kolorymetryczne nie nadają się do ciągłego monitorowania EtCO<sub>2</sub>. Po intubacji detektor należy zakładać tylko okresowo w celu potwierdzenia prawidłowego położenia rurki dotchawiczej. Papierek lakmusowy znajdujący się w detektorze, który jest założony na stałe, po kilku minutach nie zmienia koloru po każdym oddechu (pozostaje cały czas żółty).



### Kapnometria/kapnografia

Kolejna metoda pomiaru — kapnometria ilościowa — jest pozbawiona ograniczeń detektorów kolorymetrycznych. Ten rodzaj sprzętu pokazuje wartość liczbową EtCO<sub>2</sub> na ekranie urządzenia. W warunkach polskiego systemu ratownictwa medycznego stosunkowo często można spotkać ten rodzaj pomiaru, zwykle w przenośnych urządzeniach mających możliwość jednoczesnego oznaczania pulsoksymetrii i końcowo-wydechowego dwutlenku węgla. Należy pamiętać, że metoda może być zawodna w przypadku pacjentów, którzy przed wystąpieniem stanu zagrożenia zdrowia i życia wymagającego intubacji spożyli gazowany napój lub inne środki mogące wydzielać dwutlenek węgla (np. Alka-Seltzer). W tym przypadku początkowy odczyt wartości EtCO<sub>2</sub> może błędnie utwierdzić personel medyczny w przekonaniu, że rurka dotchawicza znajduje się w drzewie oskrzelowym. Pewna ilość dwutlenku węgla może także znaleźć się w żołądku po wentylacji pacjenta workiem samorozprężalnym, przy niedostatecznym udrożnieniu dróg oddechowych. Jednak w tych sytuacjach poziom EtCO<sub>2</sub> nigdy nie osiągnie prawidłowych wartości, co więcej — dwutlenek węgla zostanie wypłukany z żołądka po kilku kolejnych oddechach, co można zaobserwować jako szybki spadek końcowo-wydechowego CO<sub>2</sub> — do wartości bliskich zeru.

W przeciwieństwie do detektorów kolorymetrycznych kapnometria ilościowa znajduje zastosowanie w ciągłym monitorowaniu EtCO<sub>2</sub> u pacjenta z zabezpieczonymi przyrządowo drogami oddechowymi oraz w trakcie NZK (nagłego zatrzymania krążenia).

W warunkach prawidłowych wartość EtCO<sub>2</sub> waha się w zakresie 35-45 mm Hg (różne źródła podają nieznacznie różne wartości). Warto zwrócić uwagę, że wnikliwa obserwacja szybkości i kierunku zmian wartości EtCO<sub>2</sub> jest ważniejsza niż rozważanie przyczyn pojedynczego pomiaru, który nie mieści się w zakresie referencyjnym. Trzeba pamiętać, że wartość EtCO<sub>2</sub> jest wynikiem wielu wzajemnie wpływających na siebie czynników — przyczyny stanu chorobowego pacjenta, mechanizmów kompensacyjnych czy ingerencji personelu medycznego, dlatego czasem bardzo trudno określić, jaka powinna być teoretyczna wartość EtCO<sub>2</sub> w danym przypadku. Niemniej nagłe zniknięcie krzywej kapnograficznej lub nagły spadek wartości numerycznej w przypadku kapnometrii może świadczyć o:

- nagłym zatrzymaniu krążenia (brak przepływu krwi przez płuca — brak możliwości dyfundowania CO<sub>2</sub> do pęcherzyków);
- masywnym zatorze płucnym (płuca nie mogą oddawać CO<sub>2</sub>);
- wysunięciu się rurki intubacyjnej z drzewa oskrzelowego;
- całkowitym zatkaniu się rurki intubacyjnej;
- rozłączeniu układu respirator — rurka intubacyjna lub jego wadliwym funkcjonowaniu (np. zagięcie się rurki dotchawiczej, brak tlenu w butli);
- odłączeniu się kapnografu.

Stałe obniżenie lub stopniowe obniżanie się poziomu krzywej lub wartości kapnometrii poniżej wartości referencyjnej występuje przy:

- hipokapnii (stan obniżonego ciśnienia parcjalego dwutlenku węgla we krwi poniżej normy) wynikającej z hiperwentylacji (nadmierna częstość oddechów lub objętość oddechowa — nadmierna wentylacja minutowa);
- pogłębiającym się wstrząsie;
- przemieszczeniu się rurki intubacyjnej do oskrzela głównego prawego;
- zatorze płucnym o mniejszej rozległości;
- nieszczelności mankietu uszczelniającego rurkę.

Wzrost EtCO<sub>2</sub> powyżej wartości referencyjnej można zaobserwować przy:

- hiperkapnii (stan podwyższonego ciśnienia parcjalego dwutlenku węgla we krwi powyżej normy) wynikającej z hipowentylacji (niedostateczna częstość oddechów, zbyt mała objętość oddechowa — zbyt mała wentylacja minutowa);
- drgawkach;
- zwiększonej aktywności metabolicznej (gorączka, sepsa, hipertermia);
- przełomie tarczycowym (zagrożający życiu stan gwałtownego przyspieszenia procesów metabolicznych spowodowany nadmiernym uwolnieniem hormonów tarczycy);
- dożylnym podaniu wodorowęglanu sodu (wzrost krótkotrwały);
- przy powrocie spontanicznego krążenia (ROSC — *return of spontaneous circulation*).

Przedstawienie nieuwjętych w algorytmie parametrów życiowych daje możliwość dalszego rozwoju zarówno funkcji szans przeżycia, jak również systemu monitorowania dobrostanu żołnierza po dotarciu na miejsce zdarzenia.

### 3. Przegląd systemów triażowych

Systemy segregacji medycznej — systemy triażowe zostały wprowadzone do procedur służb ratunkowych w odpowiedzi na pojawiające się zdarzenia z dużą liczbą poszkodowanych. Ich celem jest uratowanie możliwie jak największej liczby poszkodowanych. W systemach ratunkowych stosowane są różnego rodzaju schematy triażowe, ale w zasadzie żaden z nich nie jest uniwersalny. Pierwsze wzmianki na temat systemów triażowych pochodzą z czasów wojen napoleońskich. Przewrotnie nie powstały one, aby ratować ludzkie życie, a z bardziej prozaicznego powodu, jakim była chęć przywrócenia potencjału rannych żołnierzy do działań na polu walki. Potrzeba dowództwa wojsk napoleońskich zbiegła się z działalnością dwóch chirurgów, którzy mieli już pewne doświadczenia i dokonania w leczeniu rannych żołnierzy. Byli to Pierre-François Percy (1754-1825) oraz Dominique Jean Larrey (1766-1842). W literaturze specjalistycznej nie znajdujemy jednoznacznej odpowiedzi

na pytanie, komu przypisano powstanie pierwszego systemu triażowego. Jednak to koncepcja Larreya wpłynęła znacząco na zmniejszenie liczby zgonów na polu walki, to na jej podstawie ranni byli ewakuowani z teatru działań i trafiali do szpitali polowych. Brano pod uwagę trzy kategorie:

- rany zagrażające życiu,
- rany mniej niebezpieczne dla życia,
- rany lekkie.

Słowo *triage* pochodzi z języka francuskiego i oznacza „przerzedzić”. Przyjęto je jako określenie segregacji medycznej w medycynie katastrof i zdarzeń masowych. Triaż medyczny jest sposobem na to, by ratownicy działający na miejscu zdarzenia mieli szansę udzielić pomocy jak największej liczbie poszkodowanych w możliwie najkrótszym czasie. Stosowanie triażu pozwala na szybką ocenę poszkodowanego na miejscu zdarzenia oraz ustalenie priorytetów ewakuacyjnych. Na świecie istnieje wiele systemów segregacji medycznej. Różnice wynikają z lokalnych protokołów medycznych, z charakteru zdarzenia, ilości sił i środków biorących udział w akcji, jak również z miejsca zdarzenia. Ich mnogość jest efektem niedoskonałości, co determinuje ich ciągły rozwój. Żaden z aktualnie wykorzystywanych systemów nie jest na tyle uniwersalny, by sprawdził się w różnych miejscach lub zdarzeniach. Stąd potrzeba rozwoju samych systemów, jak również narzędzi, które będą wspierały medyka w czasie triażu.

Poniżej przedstawiono kilka najpopularniejszych systemów triażowych, które bezpośrednio lub pośrednio są stosowane w polskich warunkach zarówno cywilnych, jak i wojskowych.

### 3.1. System START — *Simple Triage And Rapid Treatment*

Przedstawiony na rysunku 1 system START to jeden z najpopularniejszych systemów segregacji medycznej na świecie, wykorzystywany m.in. w Izraelu, Stanach Zjednoczonych, jak również w Polsce w KSRG (Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy) oraz w systemie PRM (Państwowe Ratownictwo Medyczne). Został opracowany przez zespół lekarzy z HAOG Memorial Hospital w Kalifornii wraz z ratownikami straży pożarnej Newport Beach. Jest wykorzystywany zarówno w działaniach przedszpitalnych, jak również w warunkach szpitalnych. Ze względu na swoją prostotę i łatwość zastosowania jest też używany w środowisku ratowniczo-gaśniczym, stosują go np. funkcjonariusze PSP oraz Policji i wojska. Założeniem systemu jest szybka segregacja medyczna, wykonanie krytycznych procedur ratujących życie i leczenie najbardziej poszkodowanych, którzy dobrze rokują w chwili przeprowadzania triażu.

Ratownicy obecni na miejscu zdarzenia masowego działają pod presją czasu. Badanie poszkodowanych nie powinno trwać dłużej niż 30-60 sekund. System START opiera się na ocenie czterech obszarów funkcjonowania poszkodowanego. Każde odstępstwo od normy może świadczyć o obecności patologii potencjalnie

zagrożącej życiu. W związku z tym triażystą powinna być osoba mająca wiedzę dotyczącą nie tylko technicznych aspektów oceny krytycznych obszarów:

1. możliwości przemieszczania się i wypełniania poleceń;
2. stanu świadomości;

ale przede wszystkim znająca i płynnie poruszająca się w obszarze norm parametrów życiowych, takich jak:

3. obecności oddechu i jego wartości;
4. czas nawrotu kapilarnego lub obecność tętna na tętnicy promieniowej.

W systemie START rannym przydzielane są kolory, które określają ich stan, kolejność udzielenia pomocy oraz ewakuacji medycznej. Poszkodowani oznaczani są następującymi kolorami:

- **ZIELONY** — osoby chodzące i wypełniające polecenia, transport na końcu;
- **ŻÓŁTY** — osoby, które ze względu na swoje obrażenia nie mogą samodzielnie się poruszać, a ich stan nie grozi utratą życia, transport w drugiej kolejności;
- **CZERWONY** — ranni, którym bezpośrednio zagraża utrata życia, transport natychmiastowy;
- **CZARNY** — ranni nie do uratowania w chwili badania przy ograniczonych środkach.

Dzięki tym kryteriom ratownicy wiedzą, komu należy udzielić pomocy jako pierwszemu i które osoby powinny być ewakuowane do szpitala w pierwszej kolejności. Pozwala to przede wszystkim ocenić zapotrzebowanie na siły i środki potrzebne do udzielania pomocy oraz daje możliwość zaplanowania kolejnych działań służb na wstępnym etapie akcji (np. wyznaczenie strefy bezpiecznej, określenie obszarów zbiórki poszkodowanych, ustalenie węzłów komunikacyjnych i logistycznych).

Poza oceną poszkodowanego w procesie segregacji stosujemy krytyczne procedury ratunkowe przerywające proces umierania lub pozwalające utrzymać zdolność funkcjonowania organizmu na zastanym poziomie. Zaliczamy do nich tamowanie masywnych krwotoków, ułożenie osoby w pozycji bezpiecznej (w przypadku braku możliwości samodzielnego podtrzymania drożności dróg oddechowych), podaż odtrutek w przypadku stwierdzenia obecności toksydromu. Wszystkie te czynności powinny wynikać z kompetencji osoby przeprowadzającej proces segregacji medycznej, a nie być narzucane odgórnie.

Osoba wyznaczona do realizacji procedury triażu powinna bardzo dobrze znać system START oraz mieć niezbędną wiedzę medyczną do jego efektywnego zastosowania. Proces segregacji medycznej rozpoczyna się od oceny miejsca zdarzenia i wyznaczenia sposobu poruszania się, tak by za wszelką cenę nie dopuścić do sytuacji, w której jakkolwiek poszkodowany zostanie pominięty w triażu. W sytuacjach skrajnych należy rozważyć stworzenie zespołów segregacyjnych, które będą odpowiadały za segregację w wyznaczonym terenie.

Jako pierwsi w procesie segregacji będą wyznaczeni poszkodowani o kolorze **zielonym**. Są to osoby, które reagują na polecenia i mogą się samodzielnie poruszać. Nie są poszkodowane albo ich obrażenia nie zagrażają życiu. W celu ich zgromadzenia w jednym wyznaczonym do tego miejscu — w strefie zielonej, bezpiecznej — używa się głośnego polecenia: „osoby, które mogą chodzić, niech podejść do mnie (do triażysty)!”. Komunikatowi głosowemu powinien towarzyszyć gest „przywołania”. Optymalnym umiejscowieniem strefy bezpiecznej jest lokalizacja, która będzie utrudniała rozchodzenie się i dalsze przemieszczanie poszkodowanych i ich powrót w strefę niebezpieczną. Należy jednak pamiętać, że stan tych osób może w każdej chwili ulec zmianie. Dlatego powinny znajdować się ciągle pod opieką, ale może to być już osoba niemedyczna, np. strażak, policjant, żołnierz po kursie KPP, który będzie w stanie rozpoznać pogorszenie się stanu zdrowia poszkodowanego i właściwie zareaguje. Osoby, które znalazły się w strefie zielonej, również powinny zostać zbadane.

Dzięki tym działaniom na miejscu zdarzenia pozostaną osoby, które nie spełniają poleceń i nie są w stanie się samodzielnie przemieszczać. Triażysta powinien natychmiast wznowić prowadzenie triażu przez podążenie ustaloną trasą między poszkodowanymi i oceniać ich stan według algorytmu, który obejmuje:

- ocenę układu oddechowego — ustalenie liczby oddechów na minutę, a w przypadku braku drożności dróg oddechowych udrożnienie ich ręko-czynem czoło-zuchwa;
- ocenę układu krążenia — w pierwszej wersji systemu START ocenie poddawano nawrót kapilarny. W 2001 r. wprowadzono modyfikację w postaci oceny obecności tętna na jednej z tętnic promieniowych poszkodowanego. Obie metody oceny układu krążenia są dopuszczalne;
- ocenę, czy poszkodowany spełnia proste polecenia — np. gdy zostanie poproszony o podniesienie ręki w górę.

Jako **czworni** będą traktowani wszyscy poszkodowani, u których stwierdzono:

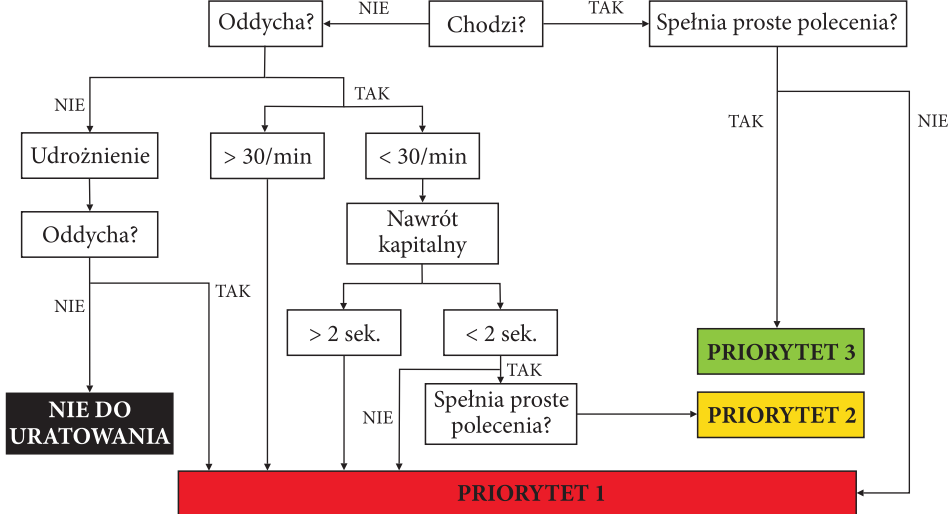
- brak samodzielnego utrzymywania drożności dróg oddechowych, jednak po wykonaniu procedur ratujących życie — udrożnieniu dróg oddechowych przez ratowników —zaobserwowano obecność oddechu;
- obecność spontanicznego oddechu o częstotliwości powyżej 30 oddechów na minutę;
- obecność spontanicznego oddechu o częstotliwości poniżej 30 oddechów na minutę przy jednoczesnym wydłużonym nawrocie kapilarnym powyżej 2 sekund lub braku tętna na tętnicy promieniowej;
- obecność spontanicznego oddechu o częstotliwości poniżej 30 oddechów na minutę, czas trwania nawrotu kapilarnego poniżej 2 sekund lub stwierdzenie obecności tętna na tętnicy promieniowej oraz brak spełniania prostych poleceń.

To główna grupa poszkodowanych, których musi odnaleźć triażysta z uwagi na konieczność udzielenia im pomocy w pierwszej kolejności i ich natychmiastowej ewakuacji do odpowiednich szpitali. Ich obrażenia są na tyle poważne, że każda zwłoka może spowodować śmierć. Około 25-30% zgonów spowodowanych przez urazy można uniknąć (*preventable deaths*). Pomoc osobom rannym podczas zdarzenia masowego lub katastrofy niestety czasami nie jest możliwa. Widać to zwłaszcza w pierwszej fazie akcji ratunkowej, podczas której nie ma wystarczających sił i środków.

Za **żółtych** zostaną uznani poszkodowani, którzy wypełniają polecenia, nie mają zaburzeń świadomości, ich oddech jest w granicach 8-30 oddechów na minutę, mają zachowane tętno na tętnicy promieniowej lub czas trwania nawrotu kapilarnego wynosi u nich poniżej 2 sekund. Kolor ten jest najczęściej przyznawany osobom, których obrażenia i urazy w momencie segregacji nie zagrażają życiu, a jedynie uniemożliwiają przemieszczanie się.

Kolor **czarny** jest nadawany poszkodowanym nieprzytomnym, nieoddychającym pomimo udrożnienia dróg oddechowych oraz niemającym tętna na tętnicy promieniowej. Należy podkreślić, że ten kolor **NIE** oznacza śmierci poszkodowanego! W medycynie katastrof oznacza to, że taki poszkodowany w chwili, gdy siły i środki są ograniczone, jest nie do uratowania. W sytuacji pojawienia się na miejscu dodatkowych sił i środków może nastąpić zmiana przyznanego koloru — podczas procedury retriażu.

#### SYSTEM START



Rys. 1. System START — Simple Triage and Rapid Treatment

System START nie zawsze jasno informuje o stanie poszkodowanego i pozwala na umieszczenie go w odpowiedniej grupie poszkodowanych. W literaturze wielokrotnie podkreśla się, że nie ma systemu segregacji medycznej pozbawionego wad i możliwego do zastosowania w każdej sytuacji. Możemy więc spotkać jego różne modyfikacje, np. w przypadku dzieci stosowana jest modyfikacja zwana **JUMP START**.

W tym wariantcie kolor czerwony przydzielany jest automatycznie wszystkim dzieciom poniżej pierwszego roku życia. W stosunku do dzieci od roku do ośmiu lat stosuje się zasadniczy JUMP START, który ma kilka różnic w podejściu do oceny poszkodowanego. Pierwszą jest stosowanie pięciu oddechów zastępczych w przypadku braku oddechu po udrożnieniu dróg oddechowych. Wynika to z mechanizmu zatrzymania krążenia, który u dzieci najczęściej spowodowany jest przyczynami oddechowymi. Kolejną znaczącą różnicą jest prawidłowa norma oddechów, która powinna wynosić pomiędzy 15 a 45 oddechów na minutę. Ponadto zgodnie z wytycznymi Europejskiej Rady Resuscytacji to ratownik ocenia, czy ma do czynienia z dzieckiem, czy osobą dorosłą. W ocenie zdolności do spełniania poleceń stosuje się prostą skalę oceny stanu świadomości AVPU (A — przytomny, V — reagujący na głos, P — reagujący na ból, U — niereagujący). Jeśli u poszkodowanego stwierdzono stan świadomości na poziomie A, V lub P, należy przydzielić mu kolor żółty. Jeśli stan świadomości jest na poziomie U — kolor czerwony.

W 2012 roku Oddział Nowojorskiej Straży Pożarnej (*The Fire Department of the City of New York, Bureau of EMS*) wprowadził zmiany w systemie START. Dodano do niego kolor **pomarańczowy**, którym oznacza się poszkodowanych wymagających pilniejszej ewakuacji niż osoby, które oznaczono kolorem żółtym. W grupie pomarańczowej ujęto poszkodowanych z objawami, które niekoniecznie muszą być związane z obrażeniami ciała, a mogą wiązać się z chorobami przewlekłymi u tych osób. Wzięto pod uwagę takie objawy jak: ból w klatce piersiowej, duszność, obturacja dróg oddechowych, lżejsze urazy głowy czy toksyczne uszkodzenie dróg oddechowych. Objawy te nie wymagają ewakuacji do centrum urazowego, a docelowym szpitalem mogą być inne placówki mające możliwość diagnostyki i ewentualnej terapii. Modyfikacja nie jest skomplikowana, nie wymaga dodatkowego obliczania wartości, a zdecydowanie pozwala uniknąć pominięcia tych poszkodowanych, którzy ze względu na choroby przewlekłe lub drobne obrażenia mogą potrzebować opieki medycznej.



### 3.2. System SALT

System segregacji medycznej SALT — nazwa jest akronimem od: *Sort, Asses, Lifesaving interventions, Treatment/Transport* — powstał w 2008 r. w odpowiedzi na wydarzenia terrorystyczne z początku XXI wieku. Jest jednym z najnowszych i najmłodszych systemów triażowych funkcjonujących na świecie. Skupia się na czterech priorytetach:

1. szybka segregacja medyczna poszkodowanych,
2. ocena indywidualna poszkodowanych,
3. procedury ratujące życie,
4. odpowiednie leczenie i transport do właściwych placówek medycznych.

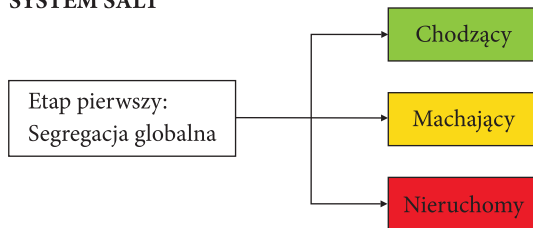
System zwraca uwagę na aspekt tzw. *under-triage* — „niedosegregowania”, sytuacji, w której nie doszacowano realnej wagi obrażeń poszkodowanego oraz ich wpływu na dalszy proces leczenia. Sytuacja „under-triażu” może w konsekwencji doprowadzić do tego, że środki i siły zadysponowane do zdarzenia będą niewystarczające, co będzie skutkowało koniecznością zmiany postępowania, a co za tym idzie, powiększy występującą w każdym zdarzeniu masowym początkową fazę chaosu.

System SALT wyróżnia dwa główne etapy działań ratunkowych:

1. Etap *segregacji globalnej* (*Global Sorting* — rys. 2) — w którym dokonuje się podziału poszkodowanych na tzw. *chodzących* (*walkers*), *machających* (*wavers*) w kierunku ratowników oraz *nieruchomych* (*still*), niedających oznak życia. Na podstawie zebranych danych ustalana jest kolejność, w jakiej poszkodowani będą poddawani procedurze segregacji medycznej. Schemat kieruje personel w pierwszej kolejności do osób niedających oznak życia, następnie personel zajmie się poszkodowanymi machającymi w ich kierunku, a na końcu triażowi zostaną poddane osoby poruszające się samodzielnie. Rozpoczęcie procedur przy poszkodowanym wyznacza początek kolejnego etapu.
2. Etap *oceny indywidualnej* (*Individual Assesment* — rys. 3) — ukierunkowany jest na procedury przerywające proces umierania lub inaczej mówiąc, procedury ratujące życie, takie jak: tamowanie masywnych krwotoków, udrożnienie dróg oddechowych, torakopunkcja igłowa czy podaż odtrutek. W kolejnym kroku ocenie poddawane są: układ oddechowy, układ krążenia oraz zdolność wykonywania poleceń. Następnie personel medyczny skupia się na ocenie obrażeń ciała i możliwości udzielenia pomocy. Na bazie zebranych danych nadawany jest kolor będący oznaczeniem priorytetu wykonania interwencji medycznych.

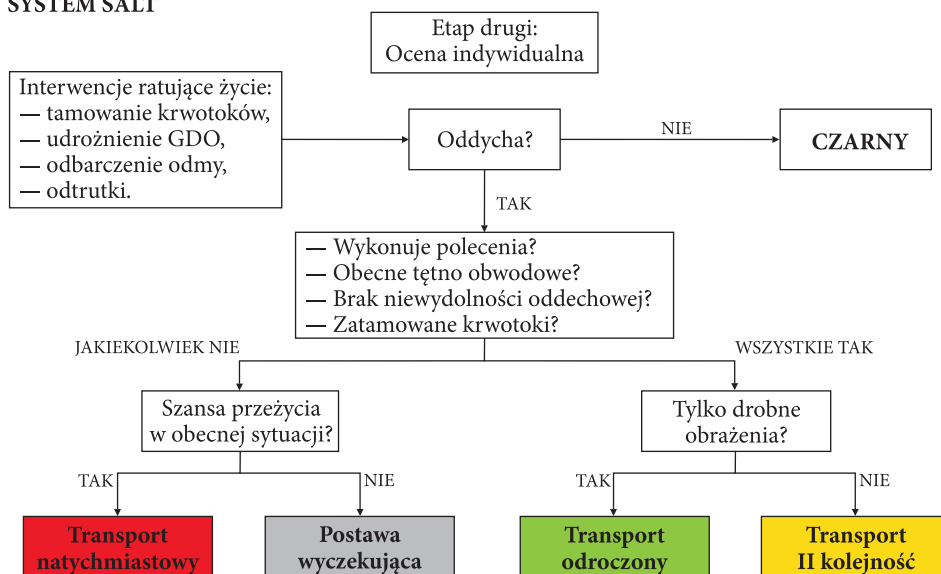
Priorytetem jest zidentyfikowanie osób, które zostaną w trakcie triażu oznaczone kolorem czerwonym. W teorii ich stan jest najcięższy i to im powinno się udzielić pomocy w pierwszej kolejności oraz ewakuować je do odpowiednich placówek medycznych.

## SYSTEM SALT



Rys. 2. System SALT, Etap I: segregacja globalna

## SYSTEM SALT



Rys. 3. System SALT, Etap II: ocena indywidualna

Kolor **czerwony** zostanie przydzielony osobom, które:

- mają zaburzenia świadomości i nie wypełniają poleceń;
- nie mają tętna na tętnicy promieniowej;
- mają trudne do zatamowania, masywne krwotoki;
- mają trudności z oddychaniem.

Zidentyfikowanie któregokolwiek z powyższych kryteriów kwalifikuje ранego do pierwszeństwa w ewakuacji do punktu medycznego oraz dalszego postępowania.

Kolorem **szarym** oznaczeni zostaną poszkodowani, którzy spełniają minimum jedno z powyższych kryteriów, ale ich stan jest zbyt ciężki, żeby przy obecnych siłach i środkach w profesjonalny sposób udzielić im pomocy. Jest ona odroczona do pojawienia się sił i środków, które umożliwią jej udzielenie.

Kolor **żółty** zostanie przydzielony poszkodowanym, którzy nie mogą się poruszać, ponieważ mają uszkodzenia kości długich lub inne obrażenia, jednak nie występują u nich takie problemy jak:

- brak tętna na tętnicy promieniowej;
- zaburzenia świadomości;
- zaburzenia oddychania;
- problem z zatamowaniem masywnych krwotoków.

Osoby te potrzebują pomocy, ale ich życiu w chwili badania nie zagraża niebezpieczeństwo.

Kolorem **pomarańczowym** oznacza się rannych z wyżej opisanych kategorii, którzy zostali skażeni substancją chemiczną i poddano ich dekontaminacji.

System SALT, tak samo jak każdy system segregacji medycznej, jest procesem ciągłym. Ratownicy muszą być gotowi na zmianę priorytetów. Część rannych może być nieprawidłowo zakwalifikowana, co może okazać się dopiero podczas kolejnych badań.

Wiele razy próbowano rozstrzygnąć, który z systemów triażowych jest lepszy, dokładniejszy i skuteczniejszy — START czy SALT. W opracowaniach nie sposób znaleźć jednoznacznej odpowiedzi na to pytanie. Można jednak zaryzykować stwierdzenie, że SALT z uwagi na swoje nowatorskie podejście jest dokładniejszy na etapie wyznaczania poszkodowanych wymagających pilnej interwencji (kolor czerwony), natomiast system START jest skuteczniejszy w powtórnej segregacji medycznej. Podkreśla to tylko fakt, że każdy system dostarcza różnych informacji o poszkodowanych, ale żaden z nich nie jest idealny.

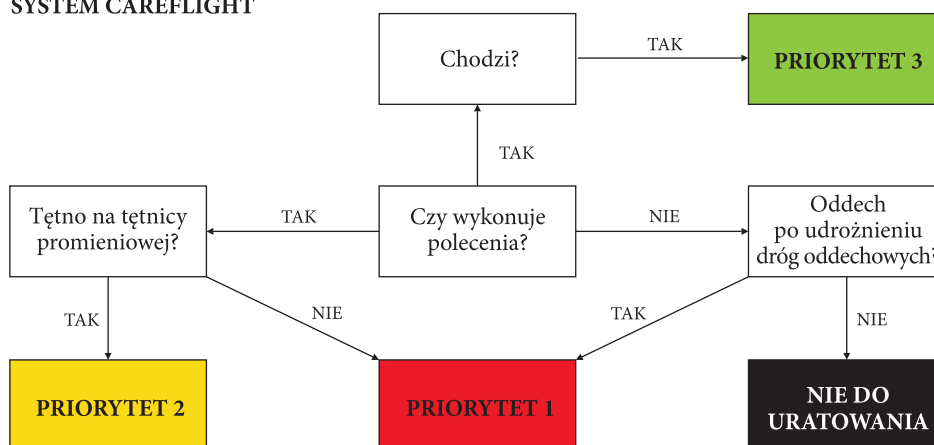
### 3.3. System CAREFLIGHT

Jednym z najpopularniejszych systemów segregacji medycznej wykorzystywanych w Australii obok SIEVE oraz START jest system CAREFLIGHT (rysunek 4). Twórcom systemu przyświecał jeden cel — prostota. System został oparty na modelu drzewa decyzyjnego, na bazie którego poszkodowany jest przydzielany do jednej z czterech grup — priorytetów: **czerwony**, **żółty**, **zielony**, **czarny**. Jest on prawie tożsamy z systemem START, z tą różnicą, że w systemie tym nie badamy liczby oddechów.

Kolor **czerwony** przydzielany jest rannym nieodpowiadającym na polecenia ratowników i u których nie da się wyczuć tętna na tętnicach obwodowych. Kolorem **zielonym** oznaczani są poszkodowani, którzy mogą chodzić, spełniają polecenia i są w stanie czekać na dalsze ewentualne działania służb ratunkowych. Kolorem **żółtym** oznaczani są ranni, którzy nie mogą się samodzielnie poruszać i nie spełniają kryteriów koloru czerwonego. Kolor **czarny** przydziela się poszkodowanym nieprzytomnym, nieoddychającym i niemającym tętna na tętnicy promieniowej. System ten jest zaliczany do najszybszych metod segregacji medycznej. Średni czas przeznaczony na jednego poszkodowanego zbliżony jest do 15 sekund.

Przyczynia się do tego brak pomiaru liczby oddechów. Niestety nie unika się w związku z tym sytuacji *under-triage* (niedosegregowania) oraz *over-triage* (prze-segregowania).

#### SYSTEM CAREFLIGHT



Rys. 4. System CAREFLIGHT

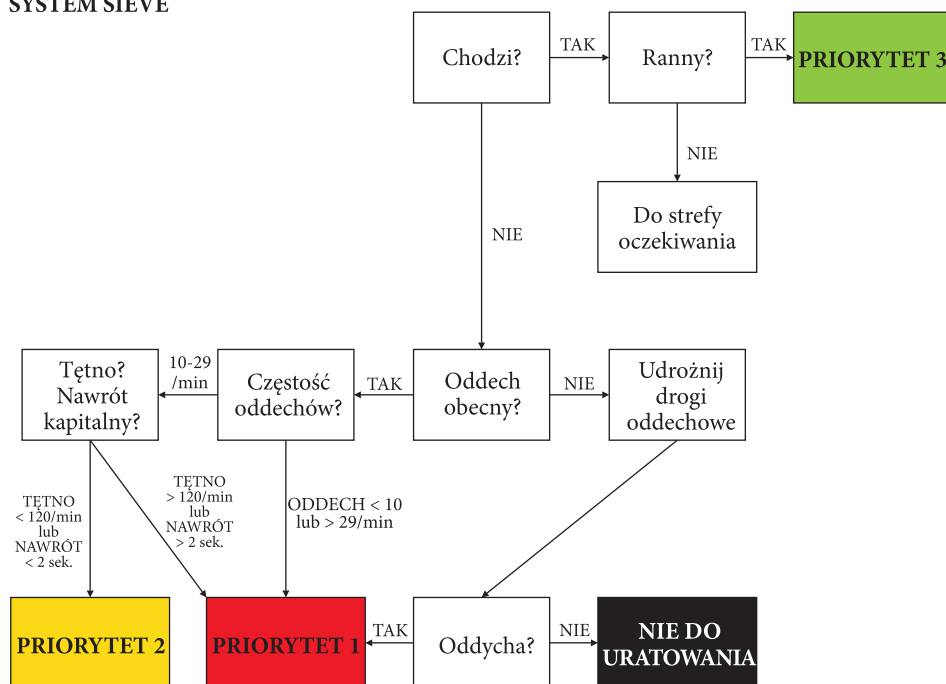
CareFlight Triage	
<b>Czerwony</b>	ranny spełnia któreś z kryteriów: — nie reaguje na polecenia; — brak tętna na tętnicy promieniowej
<b>Żółty</b>	ranny nie spełnia kryteriów koloru zielonego i czerwonego
<b>Zielony</b>	ranny jest w stanie chodzić i może czekać
<b>Czarny</b>	brak spełnienia poleceń brak oddechu brak tętna na tętnicy promieniowej

### 3.4. System SIEVE

System SIEVE (od ang. *siev* — *sito*), przedstawiony na rysunku 5, jest znany mniej więcej od połowy lat 90. XX wieku i wykorzystywany głównie w Wielkiej Brytanii oraz Australii. SIEVE zbliżony jest do systemu START, zaczyna się analogicznie: przez wyznaczenie osób, które mogą się samodzielnie przemieszczać. Stanowią one grupę poszkodowanych **zielonych**. Priorytetem w tym systemie jest aktywowanie procedur medycznych, które przerwą proces umierania u poszkodowanych niereagujących na polecenia triażystów. Za procedury krytyczne uznano założenie opasek uciskowych

i zatamowanie masywnych krwotoków, zabezpieczenie drożności dróg oddechowych u poszkodowanych nieprzytomnych. Jeżeli udrożnienie dróg oddechowych nie przywróci spontanicznego oddechu, należy takie osoby uznać za poszkodowanych nie do uratowania na tym etapie działań ratunkowych i przyznać im kolor **czarny**. Osoby nieprzytomne oddychające samodzielnie lub po udrożeniu dróg oddechowych należy automatycznie przypisać do grupy  **czerwonej**. Do tej grupy zalicza się również poszkodowanych oddychających z częstotliwością poniżej 10 i powyżej 30 oddechów na minutę. Również poszkodowani, którzy mają wartość tętna wyższą niż 120 na minutę, oraz osoby z wydłużonym nawrotem kapilarnym powyżej 2 sekund będą przypisani do tej grupy. Do grupy **żółtej** trafią poszkodowani nieprzytomni, oddychający z częstotliwością między 10 a 29 oddechów na minutę oraz mający tętno poniżej 120 uderzeń na minutę lub nawrót kapilarny poniżej 2 sekund.

#### SYSTEM SIEVE



Rys. 5. System SIEVE

### 3.5. NATO TRIAGE

Zdarzenia z dużą liczbą poszkodowanych są związane również z działaniami na polu walki. Różnica w działaniu wynika bezpośrednio ze specyfiki zdarzenia i założonych celów. Podczas konfliktów zbrojnych lub działań taktycznych w teatrze działań priorytetem jest wykonanie postawionych zadań i celów. Warto podkreślić jest to, że są to zasady obowiązujące w trakcie realizacji zadań bojowych. Inne procedury obowiązują w warunkach pokoju i pracy mającej podtrzymać zdolność bojową wojska, m.in. wspomniane wcześniej zastosowanie systemu np. START. Z punktu widzenia dowodzenia misja ratowania poszkodowanych odbywa się w dużej mierze po to, by mogli oni jak najszybciej być przywrócenii do dalszych działań. Priorytetem podczas walk jest jednak wykonanie misji, a nie ratowanie wszystkich rannych. To duża różnica w porównaniu do cywilnej segregacji medycznej. W trakcie konfliktów zbrojnych siły i środki zawsze będą ograniczone, a ewakuacja poszkodowanych będzie musiała odbywać się wieloetapowo lub będzie wydłużona w czasie. Ratownicy często mają do czynienia z przedłużającą się opieką na polu walki (*prolonged field care*) i są zmuszeni zajmować się rannymi dużo dłużej niż podczas cywilnych zdarzeń o charakterze masowym.

Państwa należące do sojuszu północnoatlantyckiego — NATO — ze względu na specyfikę środowiska i realizacji zadań oraz z uwagi na wykorzystywane różne systemy segregacji w państwach członkowskich przyjęły w formie doktryny zmodyfikowane zasady segregacji poszkodowanych w warunkach pola walki. Stanag NATO-wski dotyczący systemu NATO Triage wskazuje osobę odpowiedzialną za wykonanie triażu — tzw. *medical officer*. Ma to być najbardziej doświadczony przedstawiciel personelu medycznego. Procedura przewiduje zakwalifikowanie poszkodowanych do czterech kategorii, a każda z nich jest oznaczona literą T. Ponadto wskazuje na użycie wyraźnych kolorowych oznaczeń umieszczanych na poszkodowanych, tzw. *casualty tag* — etykiet poszkodowanych, w celu przekazania najważniejszych informacji o rannych.

W procesie triażu ranny zostaje zakwalifikowany do jednej z czterech grup:

- **T1 — Immediate Treatment Group** — poszkodowani wymagający natychmiastowych procedur ratujących *życie*, z obrażeniami dającymi szansę na przeżycie. Jednym z kryteriów włączenia poszkodowanego do tej grupy jest przewidywana zmiana statusu na T2 po wykonaniu procedur ratujących życie.
- **T2 — Delayed Treatment Group** — poszkodowani wymagający czynności ratujących życie lub operacji, których opóźnienie nie przyniesie pogorszenia stanu zdrowia.

- **T3 — *Minimal Treatment Group*** — poszkodowani, którzy doznali małych lub nieznaczących obrażeń i są zdolni do udzielenia sobie pomocy. Jeśli to możliwe, powinni zostać zaangażowani w proces udzielania pomocy bardziej poszkodowanym.
- **T4 — *Expectant Treatment Group*** (kolor biały) — poszkodowani, którzy doznali bardzo dużych i/lub rozległych obrażeń, a ich leczenie wymagałoby wielu sił, środków i czasu. Przydzielenie do tej grupy musi odbywać się we współpracy z Dyrektorem Medycznym Teatru Działań (*Theatre Medical Doctor*).

Stanag NATO podkreśla ponadto konieczność gotowości personelu do realizowania zadań w ekspozycji na czynniki CBRN — zagrożenia chemiczne, biologiczne, radiacyjne oraz nuklearne, a co za tym idzie przymus zastosowania wzmoczonych środków ochrony indywidualnej. Zwrócono również uwagę na konieczność planowania ewakuacji poszkodowanych do ośrodków docelowego leczenia lub punktów zbiórki wyznaczonych w obrębie teatru działań. NATO Triage został oparty na jednym z najpopularniejszych systemów cywilnych segregacji medycznej — START. Warto zaznaczyć, że poszczególne kraje członkowskie dostosowały swoje systemy triażowe do obowiązujących wytycznych NATO.

### 3.6. Triaż taktyczny

Komitet *Tactical Combat Casualty Care* — *TCCC* opracował wytyczne do postępowania w sytuacji zdarzenia z dużą liczbą poszkodowanych w teatrze działań. Priorytety zostały oparte na protokole *MARCHE*, minimalnym czasie postępowania w zależności od fazy, w której udzielana jest pomoc. Komitet *TCCC* w teatrze działań wyróżnia następujące fazy działania:

- *Care Under Fire* — strefa pod ostrzałem;
- *Tactical Field Care* — strefa względnie bezpieczna;
- *Tactical Evacuation Care* — ewakuacja taktyczna.

Wykonywane procedury ratunkowe, a także triaż rannych są uzależnione od strefy, w której się znajdują. W strefie pod ostrzałem (CUF) liczba interwencji jest ograniczona do niezbędnego minimum, a wszyscy żołnierze, którzy zostali ranni, muszą znaleźć schronienie i udzielić sobie samopomocy — *self-aid*. W dalszym ciągu priorytetem w działaniach taktycznych jest wykonanie misji, a najlepsza taktyka to skuteczne użycie broni. Opanowanie sytuacji taktycznej, jak również znalezienie schronienia zwiększa szanse na przeżycie rannych żołnierzy. W sytuacji przejścia do strefy względnie bezpiecznej (TFC) będzie możliwość udzielenia tzw. pomocy koleżeńskiej — *buddy aid*, opierając się na wspomnianym wcześniej akronimie postępowania *MARCHE*. Jest to również strefa, gdzie szykujemy się do wstępnej ewakuacji, która będzie miała miejsce dopiero w strefie ewakuacji taktycznej (TEC).



Jest to strefa, która umożliwia najszerze działania medyczne przed taktyczną ewakuacją medyczną. Skupia się na kontroli wykonanych wcześniej procedur, jak również zabezpieczenia procedur ratujących życie i przygotowujących rannych do ewakuacji medycznej — MEDEVAC. Najczęściej wykorzystuje się do tego śmigłowiec, ale jest to uzależnione bezpośrednio od sytuacji taktycznej w teatrze działań. Jeżeli nie jest możliwa ewakuacja śmigłowcem, wykorzystuje się do tego transport kołowy, tzw. ZEM (Zespół Ewakuacji Medycznej) będący w obwodzie. Jeżeli taki transport również nie jest możliwy, do ewakuacji wykorzystuje się tzw. CASEVAC, czyli dowolny transport dostępny w danej chwili. Wszystkie zasady działania medyków i niemedycznych żołnierzy zostały opisane w wytycznych *Tactical Combat Casualty Care*. Pierwsze prace nad nimi podjęto po wydarzeniach w Mogadiszu w 1993 roku. Zrewolucjonizowały one podejście do medycyny taktycznej oraz segregacji na polu walki. Najnowsze wytyczne ogłoszono 15 grudnia 2021 r.

Systemy triażowe wykorzystywane przez wojsko muszą być szybkie i proste ze względu na realne zagrożenie ze strony wroga, ograniczone siły i środki oraz niezwykle długą ewakuację. Priorytetem jest wykonanie zadania taktycznego, dlatego ewakuacja i leczenie rannych schodzą na dalszy plan. Żołnierze niestety są narażeni na sytuacje, w których ewakuacja jest niemożliwa. Umiejętność prowadzenia segregacji w sposób ciągły, dostosowania wykonywanych procedur medycznych do danej sytuacji taktycznej jest dla wojskowych medyków priorytetowa. *Prolonged Field Care*, czyli opieka nad poszkodowanym na polu walki, wymaga dużych umiejętności, które możemy porównać do tych potrzebnych na oddziale intensywnej terapii. Niestety warunki, w których pracują medycy, odbiegają od standardów oddziału.

### 3.7. Segregacja odwrócona

W sytuacji, kiedy każda para rąk do walki z wrogiem jest na wagę złota, a siły i środki są ograniczone, koncepcja segregacji medycznej jest zupełnie inna niż stosowana w warunkach cywilnych. W takich warunkach stosuje się tak zwany triaż odwrócony — *reverse triage*. Priorytetem jest udzielenie pomocy tym, którzy mogą jak najszybciej odtworzyć zdolność bojową. Tylko takie podejście może dać szansę na przeżycie pozostałym członkom oddziału. Przykładem może być ranny w rękę żołnierz i drugi z masywnym urazem klatki piersiowej. W standardowym podejściu priorytetem byłoby udzielenie pomocy ciężiej poszkodowanemu. Podobną sytuację możemy sobie również wyobrazić w krytycznych zdarzeniach w środowisku cywilnym.

Jako odwrócony triaż określamy również przesuwanie chorych leżących na oddziałach szpitalnych, którzy mogą przeżyć kolejne 96 godzin. Na ich miejsce przyjmowani są bardziej potrzebujący poszkodowani, których życie jest zagrożone. Sytuacja taka może zdarzyć się w przypadku dużego napływu poszkodowanych do jednostki szpitalnej w tym samym czasie. Ponieważ żaden szpital nie jest w stanie przyjąć zbyt dużej liczby poszkodowanych, taka metoda może okazać się jedynym ratunkiem.

Zdarzenia o charakterze masowym zarówno w środowisku cywilnym, jak również w teatrze działań stanowią jedno z największych wyzwań, przed którymi stają medycy. W niesprzyjających warunkach będzie to jeszcze trudniejsze. Naturalnie pojawiająca się faza chaosu wynikająca z mnogości stanów zagrożenia życia oraz zagrożenie bezpieczeństwa na miejscu zdarzenia wpływają na to, że niezwykle trudno stworzyć system w pełni przygotowany na każdą ewentualność. Nadrzędnym celem powstających nowych systemów triażowych jest minimalizacja ryzyka błędów. W tym celu wdraża się różnego rodzaju innowacje i udoskonalenia. Techniki komputerowe, sztuczna inteligencja, aplikacje i systemy zarządzania mogą wspomóc triażystę w podejmowaniu szybkich i trafnych decyzji.

Triaż pierwotny ma być przede wszystkim szybki, dużo bardziej skomplikowany i rozbudowany będzie system retriażu, który daje możliwość ustalenia kolejności interwencji wśród najciężej poszkodowanych oraz kolejności ewakuacji (np. TEWS, NEWS 2). Implementacja nowych rozwiązań technologicznych, które będą minimalizowały potencjalny błąd czynnika ludzkiego, a także gromadzenie i analizowanie danych medycznych w czasie rzeczywistym umożliwi — szczególnie w teatrze działań — szybszą identyfikację stanu poszkodowanych i wyznaczenie priorytetów.

W obecnych czasach, gdy wojna przybiera zupełnie nową formę, należy szukać rozwiązań, które dadzą szansę przeżycia rannym. Wykorzystanie sztucznej inteligencji może zoptymalizować działanie ratowników już na etapie docierania na miejsce zdarzenia.

#### 4. Propozycja algorytmu triażu w warunkach pola walki

Komponent analizy i wnioskowania w opracowywanym w konsorcjum WAT-WIM-PIB systemie ma wykonywać automatyczny triaż, który powinien ułatwić służbom medycznym segregację rannych w wypadku masowym w zależności od stopnia obrażeń oraz rokowania. W wyniku rozszerzonych analiz i konsultacji środowiskowych ustalono, że segregacja poszkodowanych będzie wiązała się z przydziałem do czterech grup, oznaczanych kolorami:

- **Zielony** — zdrowy (pod tym pojęciem rozumiemy też np. lekko rannego żołnierza, ale z zasadniczymi parametrami życiowymi w normie — taki żołnierz ma szansę przeżycia 100%, czyli maksimum);
- **Żółty** — do ewakuacji w drugiej kolejności;
- **Czerwony** — do ewakuacji natychmiastowej (w pierwszej kolejności);
- **Niebieski** — przypadek terminalny, bez szans przeżycia — taki kolor będzie mógł być nadany tylko przez ratownika (algorytm wystawia automatycznie tylko kolor zielony, żółty lub czerwony, ewentualnie czarny, który oznacza, że system nie odbiera sygnału HR).

Ustalono, że w celu przypisania żołnierza do określonej grupy monitorowanych będzie sześć parametrów:

1. Tempo oddechu (RR — *respiratory rate*) — będzie estymowane z sygnału z sensora tensometrycznego. Zielony: 9-20 oddechów/min;
2. Tętno (HR — *heart rate*) — będzie estymowane z EKG i PPG. Zielony: 50-110 uderzeń/min;
3. Skurczowe ciśnienie krwi (SBP — *systolic blood pressure*) — będzie estymowane z EKG i PPG. Docelowo może to być wielkość proporcjonalna do SBP, ponadto zakłada się konieczność zgrubnej kalibracji po założeniu sensorów. Zielony: 100-180 mm Hg;
4. Saturacja (SpO<sub>2</sub> — *peripheral oxygen saturation*) — będzie estymowana z PPG. Zielony: 94-100%;
5. Aktywność fizyczna — będzie określana za pomocą akcelerometrów;
6. Pozycja ciała — będzie określana akcelerometrem umieszczonym na klatce piersiowej.

Będzie również monitorowana temperatura skóry na czole, ale jej znaczenie z punktu widzenia triażu w warunkach pola walki wydaje się nieistotne.

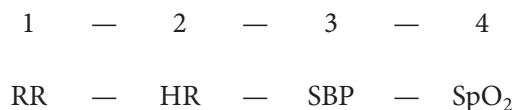
Z założenia wektor parametrów będzie docierał do modułu analizy i wnioskowania co kilka sekund i powinien być uzupełniony o pole kodowe zawierające stempel czasowy, informację o poprawności danych i „jakości” pomiaru oraz o ewentualnym odłączeniu sensora. Wektory parametrów będą rejestrowane i dostępne w trakcie i po operacji bojowej. Przewidywany jest podgląd zmienności parametrów na linii czasu.

W raporcie [5] szczegółowo przedstawiono i porównano wiele algorytmów decyzyjnych, z których każdy — nawet należący do grupy najpopularniejszych — miał pewne ograniczenia. Wnioskowanie Bayesa jest możliwe do wykorzystania w bardzo prostych problemach wnioskowania, w których użyto niewielką liczbę przesłanek implikujących wnioski. Wymaga ono definiowania bardzo dużej liczby współczynników oraz zakłada niezależność zmiennych. Wnioskowanie rozmyte wymaga definiowania funkcji przynależności dla każdej zmiennej. Dodatkowo w przypadku klasycznej logiki i logiki rozmytej główną wadą jest brak możliwości rozróżnienia wiedzy niepewnej od jej braku. Wady tej pozbawiona jest teoria ewidencji — DST, jednak umożliwia ona określenie tylko skończonego zbioru hipotez, które muszą być rozłączne. Teorią pozbawioną tej wady jest teoria Dezerta-Smarandache’a. Zbiory przybliżone dają nam jakąś wiedzę na temat ostatecznej konkluzji, jednak jest to wiedza bardzo ogólna. Wykorzystanie współczynnika pewności wymaga określenia pewnych ograniczeń na wartości miar pewności. W przypadku teorii gier ograniczeniem jest konieczność występowania zachowania dwukierunkowego. Sieci neuronowe natomiast nie dają jasnych do interpretacji wyników. Z kolei drzewo decyzyjne jest bardzo użytecznym modelem, ale tylko pod warunkiem, że nie staje się zbyt obszerne. Drzewa decyzyjne są powszechnie stosowane w medycynie i epidemiologii [6, 7].

Do ich zalet można zaliczyć łatwość interpretacji i wizualizacji oraz szybkość obliczeniową, z kolei wadą jest złożona budowa, gdy model jest wieloparametryczny.

W raporcie [8] przedstawiono analizę potencjalnych parametrów diagnostycznych, a w raporcie [9] argumentację prowadzącą do wyboru czterech podstawowych parametrów, na podstawie których dokonywany będzie triaż. Są to: tempo oddechu, tętno, skurczowe ciśnienie tętnicze oraz saturacja. Analiza systemów triażowych i ocenianych w nich parametrów życiowych pozwoliła na podjęcie decyzji o wybrze tych parametrów życiowych jako kluczowych, obiektywnych i miarodajnych do oceny w warunkach pola walki lub zdarzeń z dużą liczbą poszkodowanych.

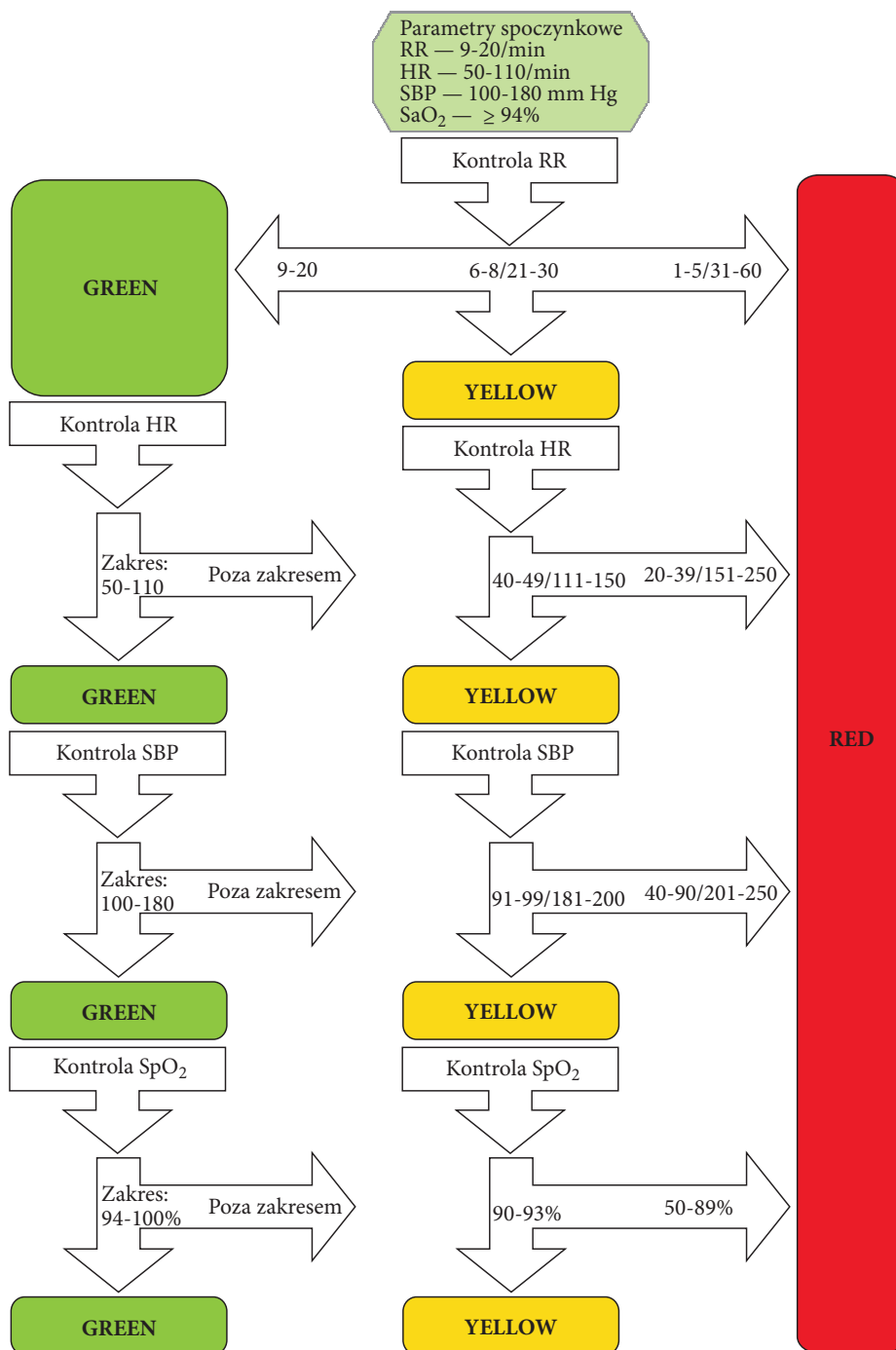
Zespół medyczny z Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie przygotował algorytm triażu odwzorowujący różne rodzaje urazów wraz z podaniem odpowiadających im kategorii w konwencji: czerwony (R), żółty (Y), zielony (G). W algorytmie tym kategorie wzrastają kolejno:  $G \rightarrow Y \rightarrow R$ . System może zwiększyć kategorię ryzyka po wykryciu nieprawidłowości w pomiarze danego parametru, jednak nie ma możliwości jej zmniejszenia, jeżeli kolejne parametry są prawidłowe. Innymi słowy w kolejnych odgałęzieniach decyzyjnych algorytm może utrzymać lub ewentualnie podwyższyć kategorię ryzyka. Przypisanie parametrów do kolejnych poziomów decyzyjnych:



wynika z przewidywanej wiarygodności pomiaru w warunkach polowych, a nie z ich ważności, określonej następująco:

- HR — najwyższy priorytet, bez parametru system nie może funkcjonować;
- RR — parametr szybko reagujący na zmianę stanu pacjenta — kompensacja/dekompensacja, brak oddechu może być spowodowany choćby pozycją pacjenta, w łatwy sposób można udrożnić drogi oddechowe i przywrócić dzięki temu oddech;
- SBP — parametr wtórny do powyższych parametrów, reaguje „z opóźnieniem”;
- SpO<sub>2</sub> — parametr o mniejszej wiarygodności, zależny od bardzo wielu czynników.

Decyzyjne wartości graniczne parametrów zebrano w tabeli 1, a wynikający z nich algorytm klasyfikacji na rysunku 6.



Rys. 6. Algorytm komputerowego wspomagania triażu

TABELA 1

## Wartości graniczne parametrów

RR				
1-5	6-8	9-20	21-30	31-60
red	yellow	green	yellow	red
HR				
20-39	40-49	50-110	111-150	151-250
red	yellow	green	yellow	red
SBP				
40-90	91-99	100-180	181-200	201-250
red	yellow	green	yellow	red
SpO <sub>2</sub>				
50-89	90-93	94-100		
red	yellow	green		

## 5. Funkcja szans przeżycia

Algorytm zasadniczy przedstawiony w poprzednim rozdziale mapuje cztery parametry: RR, HR, SBP i SpO<sub>2</sub> na trzy kolory: G, Y, R. Jest to algorytm stosowany, gdy dostępne są wszystkie cztery stabilne sygnały: HR, RR, SBP i SpO<sub>2</sub> i ma sens tylko dla żołnierza nieruchomego (od jakiegoś czasu) — do detekcji tego stanu wykorzystywana jest informacja o aktywności (czujniki ruchu i GPS).

Na podstawie tego algorytmu zdefiniowany został algorytm pomocniczy wyznaczający tzw. funkcję szans przeżycia. Potrzeba jej określenia wynika z oczekiwań związanych z wprowadzeniem oprogramowania wspierającego triaż. Kolejność ewakuacji wynika z koloru, ale właśnie w ramach jednakowego koloru decydować może wartość funkcji szans przeżycia.

W przypadku tzw. triażu taktycznego (odwróconego [10]) — w ramach TCCC (*Tactical Combat Casualty Care*) — uzależnionego od sytuacji taktycznej, stosowanego, gdy priorytetem będzie odzyskanie jak najszybciej zdolności do działań taktycznych, w pierwszej kolejności będą ratowani najlżej ranni, którzy jak najszybciej będą mogli wrócić do działania bojowego. Jest to specyficzna sytuacja, w której ratujemy najsłabiej rannych, aby móc ich ponownie wykorzystywać do walki.

W tej sytuacji również wartość funkcji szans przeżycia będzie bardzo pomocna. Generalnie, im więcej zagregowanych informacji otrzyma ratownik, tym lepiej, a funkcja szans przeżycia — mówiąc kolokwialnie — umożliwia ocenę, który z czerwonych jest potencjalnie „bardziej” czerwony od reszty, co może usprawnić działania medyków w aspekcie nadania priorytetu ewakuacji.

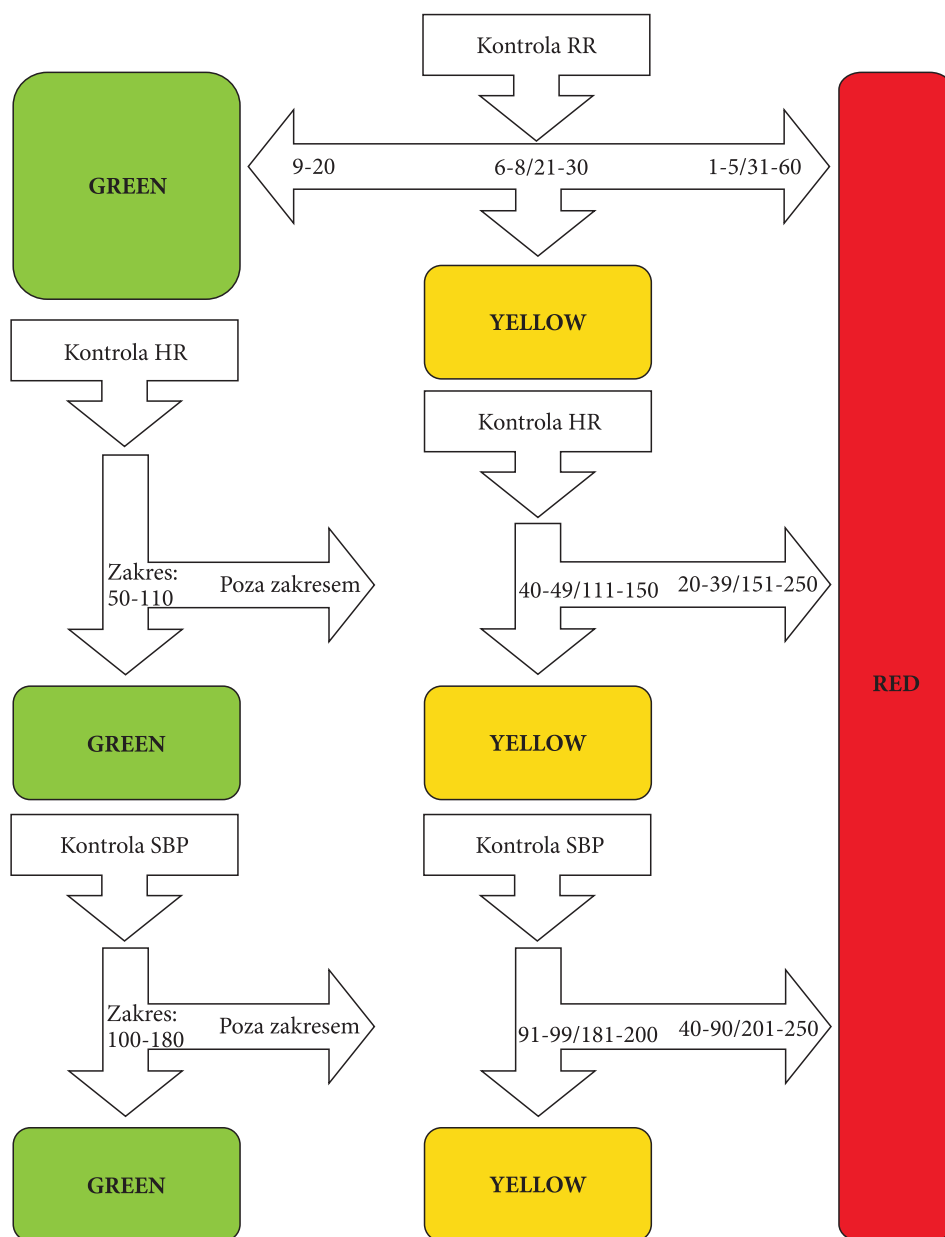
W celu zdefiniowania funkcji szans przeżycia wygenerowano 7200 przypadków równomiernie pokrywających całą czterowymiarową przestrzeń parametrów. Przypadki te wykorzystano do wyuczenia dwóch nieliniowych sieci SVM [11-13] i w rezultacie otrzymano funkcję szans przeżycia, która klasie *czerwony* przydziela zakres 1-50%, klasie *żółty* 51-99% i klasie *zielony* 100%.

Niejednokrotnie na polu walki zdarzają się przypadki odcięcia jednego lub kilku czujników. Może to wynikać z odcięcia sygnału lub silnych zakłóceń i interferencji uniemożliwiających poprawne wyznaczenie parametru. W konsekwencji konsultacji z zespołem medycznym przyjęto następujące warianty pracy systemu:

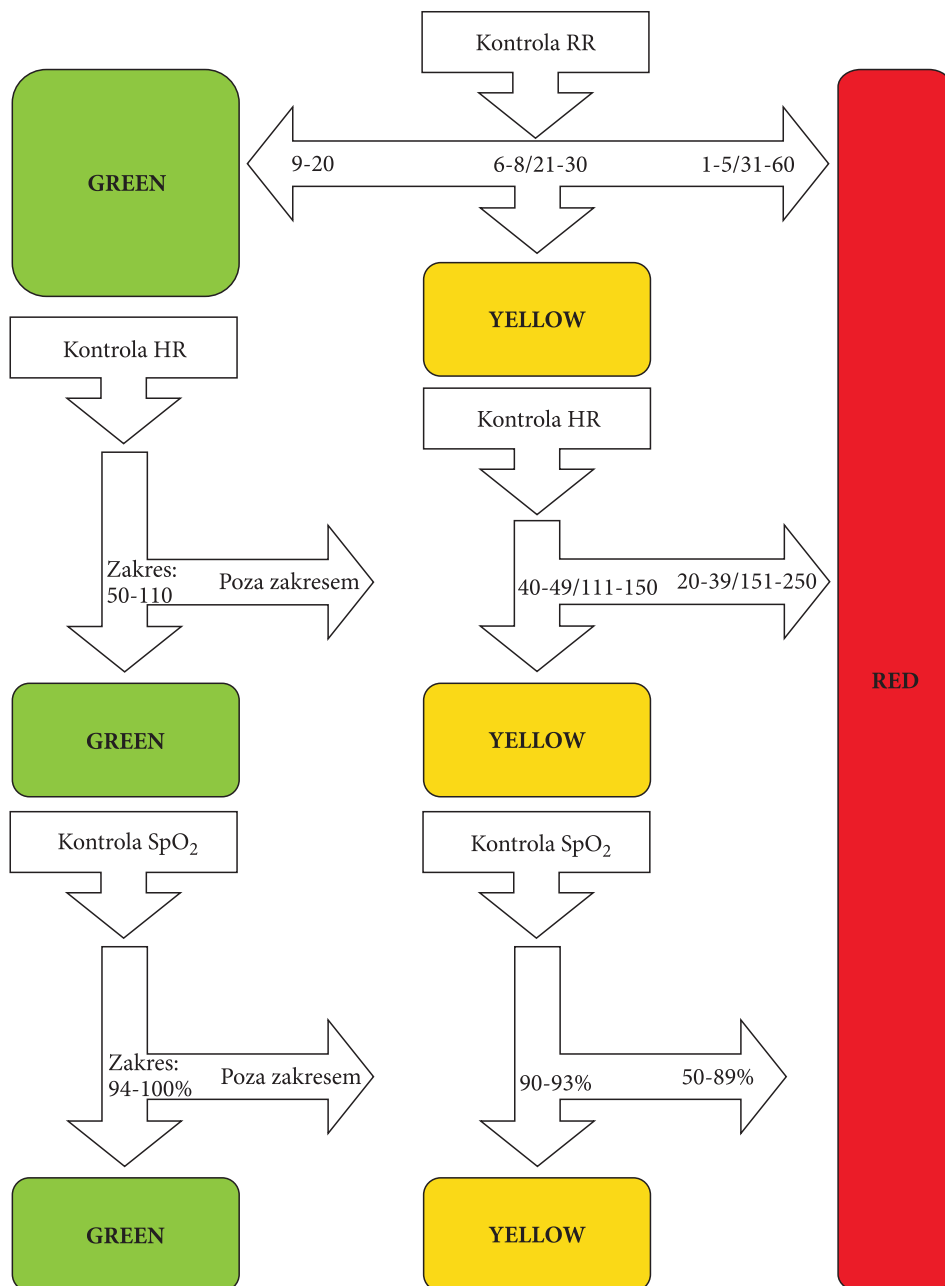
1. Gdy dostępne są wszystkie cztery parametry, stosowany jest algorytm pełny (rys. 6) i dodatkowo obliczana jest funkcja szans przeżycia. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **100%**;
2. W przypadku gdy odłączył się czujnik SpO<sub>2</sub>, stosowany jest algorytm korzystający tylko z HR, RR i SBP. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **90%**;
3. W przypadku gdy odłączył się czujnik SBP, stosowany jest algorytm korzystający tylko z HR, RR i SpO<sub>2</sub>. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **80%**;
4. W przypadku gdy odłączyły się czujniki SpO<sub>2</sub> i SBP, stosowany jest algorytm korzystający tylko z HR i RR. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **70%**;
5. W przypadku gdy odłączył się czujnik RR, stosowany jest algorytm korzystający tylko z HR, SBP i SpO<sub>2</sub>. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **80%**;
6. W przypadku gdy odłączyły się czujniki RR i SpO<sub>2</sub>, stosowany jest algorytm korzystający tylko z HR i SBP. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **70%**;
7. W przypadku gdy odłączyły się czujniki RR i SBP, stosowany jest algorytm korzystający tylko z HR i SpO<sub>2</sub>. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **60%**;
8. W przypadku gdy odłączyły się czujniki RR, SpO<sub>2</sub> i SBP, stosowany jest algorytm korzystający tylko z HR. Wiarygodność wyniku triażu wynosi **50%**;
9. W przypadku gdy odłączył się czujnik HR, system nie działa (niezależnie od pozostałych) i oznacza uszkodzonego kolorem czarnym, ale niezbędne jest potwierdzenie przez medyka na miejscu zdarzenia.

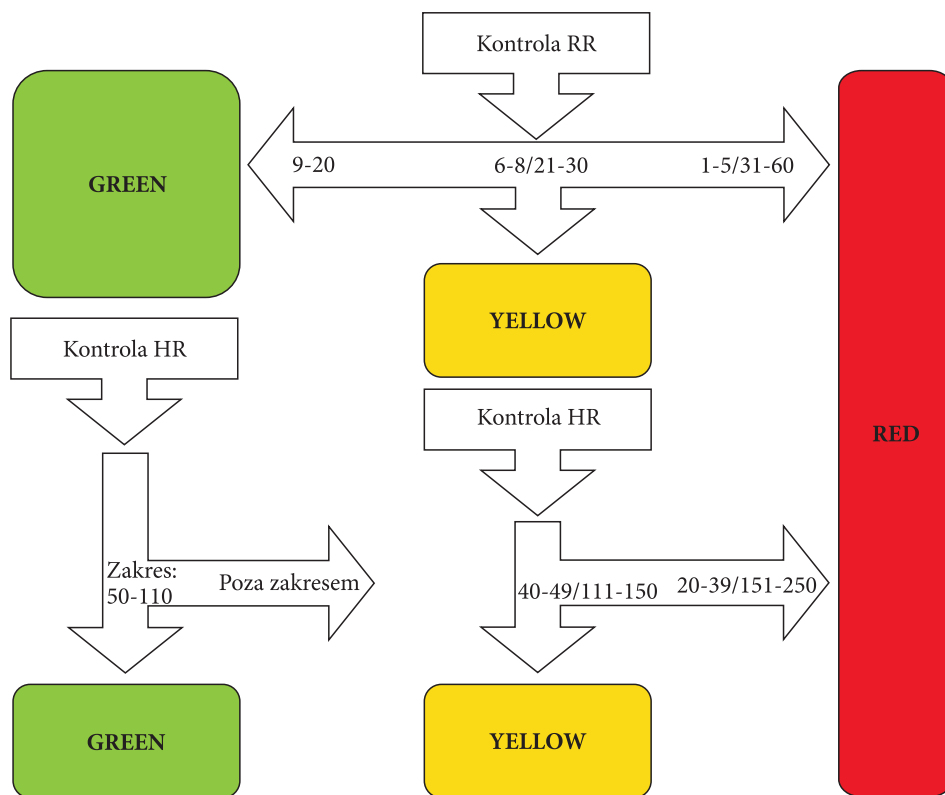
Odpowiednie algorytmy — uwzględniające odłączenie czujników — przedstawione są na rysunkach 7-13, a na rysunku 14 pokazany jest ekran główny programu testującego algorytm triażu w środowisku Matlab.



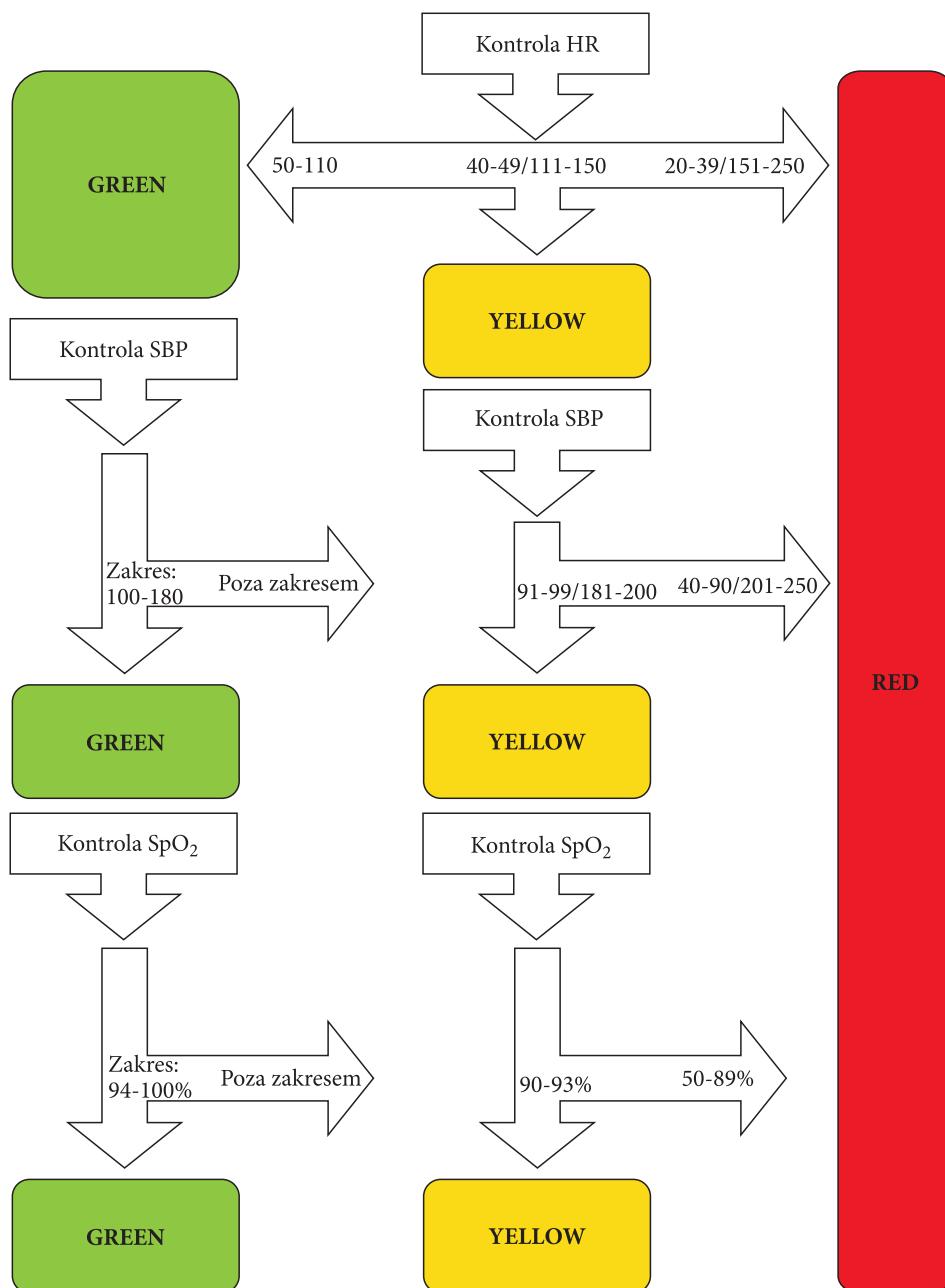


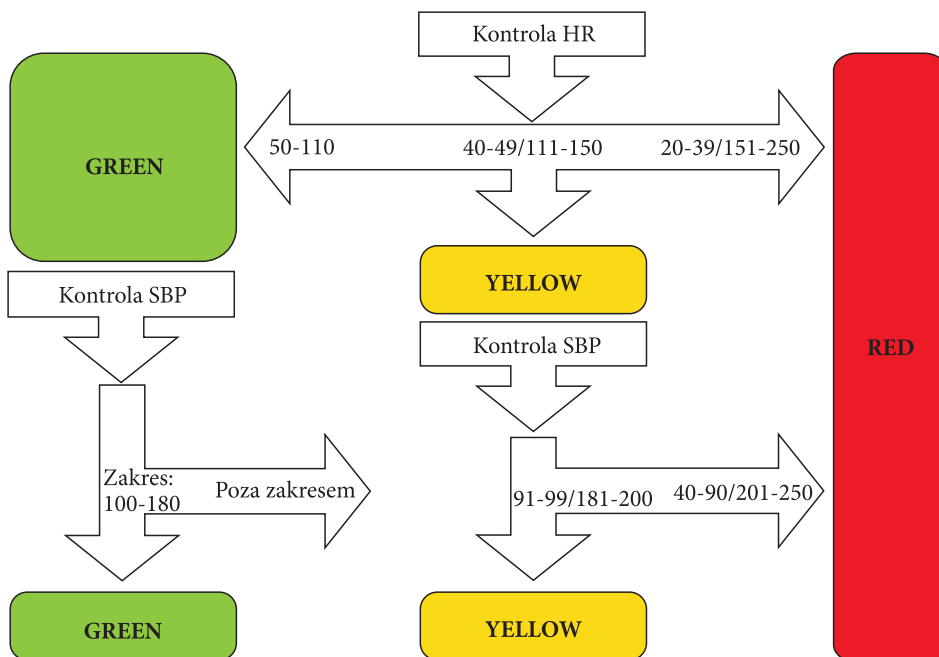
Rys. 7. Algorytm komputerowego wspomaganie triazu — RR, HR, SBP (2-90%)

Rys. 8. Algorytm komputerowego wspomaganie triażu — RR, HR, SpO<sub>2</sub> (3-80%)

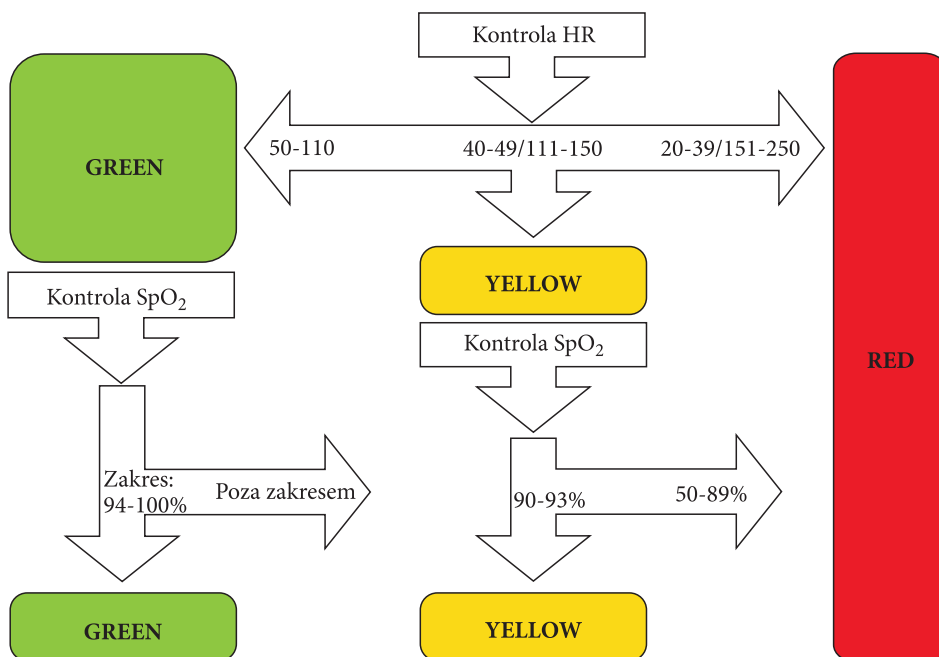


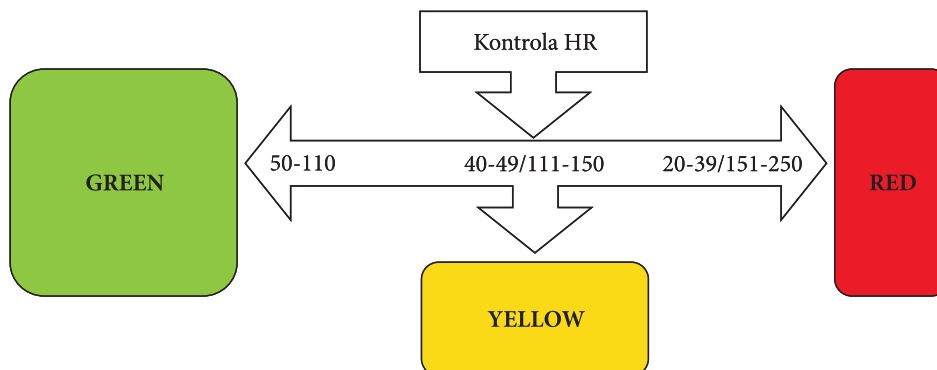
Rys. 9. Algorytm komputerowego wspomagania triażu — RR, HR (4-70%)

Rys. 10. Algorytm komputerowego wspomaganie triażu — HR, SBP, SpO<sub>2</sub> (5-80%)

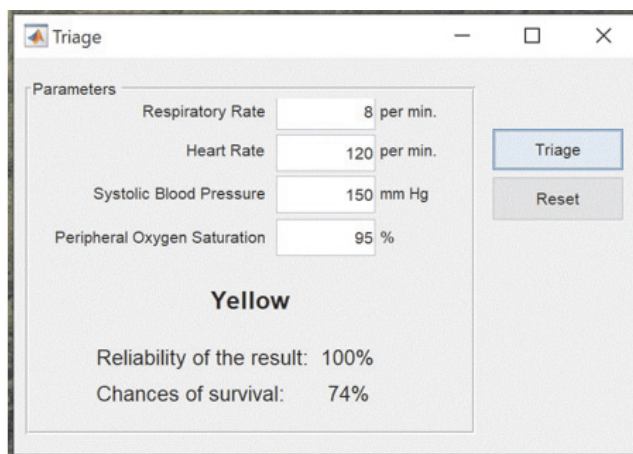


Rys. 11. Algorytm komputerowego wspomaganie triażu — HR, SBP (6-70%)

Rys. 12. Algorytm komputerowego wspomaganie triażu — HR, SpO<sub>2</sub> (7-60%)



Rys. 13. Algorytm komputerowego wspomaganie triażu — HR (8-50%)

Rys. 14. Okno główne programu *Triage* w środowisku Matlab

## 6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono przegląd najważniejszych parametrów życiowych istotnych z punktu widzenia ratownika medycznego na polu walki. Ustalono, że podlegające pomiarowi i ocenie kluczowe parametry życiowe to: tętno, tempo oddechu, saturacja, skurczowe ciśnienie tętnicze krwi oraz aktywność fizyczna i pozycja ciała. Na podstawie czterech pierwszych parametrów życiowych zaproponowano algorytm klasyfikacji w konwencji drzewa decyzyjnego, uzupełniony o moduł wyznaczający wartość funkcji szans przeżycia, który zaimplementowano w środowisku Matlab.

Po wykonaniu procedury *Triage* operatorowi prezentowana jest ocena stanu zdrowia żołnierza w konwencji: *czerwony* (R), *żółty* (Y), *zielony* (G) wraz z wartością ww. funkcji, która klasie *czerwony* przydziela zakres 1-50%, klasie *żółty* 51-99% i klasie *zielony* 100%. W przypadku braku jednego lub kilku parametrów — wskutek odłączenia czujnika lub silnych zakłóceń — wartość funkcji szans przeżycia nie jest wyliczana, a program sygnalizuje obniżenie wiarygodności automatycznego triażu. Rozwiązanie sugerowane w artykule wydaje się unikatowe w zastosowaniu zarówno w środowisku cywilnym, jak i w działaniach w teatrze zdarzeń. Autorzy, analizując dostępne źródła, nie znaleźli analogicznych lub podobnych rozwiązań. Należy wziąć pod uwagę, że jest to jedno z pierwszych tego typu podejść do zagadnienia triażu w środowisku taktycznym. Jednocześnie system daje możliwość dalszej rozbudowy, która umożliwi lepsze monitorowanie i prowadzenie poszkodowanych w fazie PFC (*Prolonged field care*).

Artykuł powstał w ramach projektu nr DOB-SZAFIR/09/B/006/01/2021 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Artykuł wpłynął do redakcji 10.01.2023. Zatwierdzono do publikacji 20.03.2023.

Andrzej Dobrowolski <https://orcid.org/0000-0002-0593-158X>

Piotr Łubkowski <https://orcid.org/0000-0002-1748-5070>

Piotr Murawski <https://orcid.org/0000-0002-0643-8893>

#### LITERATURA

- [1] OWCZUK R., *Anestezjologia i intensywna terapia*, wyd. 1, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2021.
- [2] FLEMING S., THOMPSON M., STEVENS R., HENEGHAN C., PLÜDDEMANN A., MACONOCHE I., TARASSENKO L., MANT D., *Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: a systematic review of observational studies*, *Lancet*, 377, 2011, 1011-1018.
- [3] SZCZEKLIK A., GAJEWSKI P., *Interna Szczeklika. Podręcznik chorób wewnętrznych*, Medycyna Praktyczna, Kraków 2014.
- [4] WILLIAMS B. et al., *Wytyczne ESC/ESH dotyczące postępowania w nadciśnieniu tętniczym (2018)*, *Nadciśnienie Tętnicze w Praktyce*, 4, 2, 2018, 49-142.
- [5] GŁOWACKA J., *Krytyczny przegląd metod analizy i wnioskowania*, Raport wewnętrzny, WAT, 2021.
- [6] MELLO F.C., BASTOS L.G., SOARES S.L.M. et al., *Predicting smear negative pulmonary tuberculosis with classification trees and logistic regression: a cross-sectional study*, *BMC Public Health*, 6, 43, 2006, 1-8.
- [7] ZHANG H., HOLFORD T., BRACKEN M.B., *A tree-based method of analysis for prospective studies*, *Statistics in Medicine*, 15, 1, 1996, 37-49.
- [8] DOBROWOLSKI A., *Opracowanie wstępnego zbioru kluczowych parametrów diagnostycznych*, raport wewnętrzny, WAT, 2021.
- [9] DOBROWOLSKI A., *Opracowanie formatu wektora parametrów i pilotażowego algorytmu klasyfikacji*, raport wewnętrzny, WAT, 2021.
- [10] POLLARIS G., SABBE M., *Reverse triage: more than just another method*, *European Journal of Emergency Medicine*, 23, 4, 2016, 240-247.



- [11] WÓJTOWICZ B., DOBROWOLSKI A.P., TOMCZYKIEWICZ K., *Fall detector using discrete wavelet decomposition and SVM classifier*, Metrology and Measurement Systems, 22, 2, 2015, 303-314.
- [12] DOBROWOLSKI A.P., SUCHOCKI M., TOMCZYKIEWICZ K., MAJDA-ZDANCEWICZ E., *Classification of auditory brainstem response using wavelet decomposition and SVM network*, Biocybernetics and Biomedical Engineering, 36, 2, 2016, 427-436.
- [13] STASIAKIEWICZ P., DOBROWOLSKI A.P., TARGOWSKI T., GAŁĄZKA-ŚWIDEREK N., SADURA-SIEKLUCKA T., MAJKA K., SKOCZYLAS A., LEJKOWSKI W., OLSZEWSKI R., *Automatic classification of normal and sick patients with crackles using wavelet packet decomposition and support vector machine*, Biomedical Signal Processing and Control, 67, 2021, 1-13.

A.P. DOBROWOLSKI, P. OSKWAREK, S. ROKICKI, P. WIKTORZAK,  
P. ŁUBKOWSKI, P. MURAWSKI

### **Automated triage supporting system with a decision tree algorithm and survival function**

**Abstract.** Events with a large number of casualties are an element inherent in activities on the battlefield. The difference in the triage used on the battlefield in relation to the triage used in the case of mass civil accidents results directly from the specificity of the event and the assumed goals. During armed conflicts, the priority is to achieve the tasks and goals set. From the point of view of the command, the mission to rescue the casualties takes place largely, so that they can be restored to further operations as soon as possible — the priority on the battlefield is to complete the mission, not to rescue all the wounded. During armed conflicts, forces and resources will always be limited, and the evacuation of the victims will have to be carried out in several stages or will be extended in time. Rescuers often have to deal with prolonged care on the battlefield and they are forced to deal with the wounded much longer than during mass civilian incidents. The implementation of new technological solutions that minimise potential human error, collect and automatically analyse medical data in real time, will enable us — especially in the theater of war — faster identification of the condition of the injured and setting priorities. Nowadays, when war takes a completely different form, solutions should be sought that will give the wounded a chance to survive. The priority in the case of MASCAL events is the quickest possible assessment of vital parameters that allow for targeted assistance, which are intended to reduce the mortality rate of the victims, give a chance to get specialist help. The use of artificial intelligence will make it possible to optimise the activities of rescuers already at the stage of reaching the scene of the event. The article presents an innovative segregation algorithm that takes into account the value of the so-called function of survival chances, which is an element of the medical evacuation decision support system, based on the integration of monitoring and analysis of soldier's vital signs with the medical security system.

**Keywords:** vital signs, triage, support vector machine

**DOI:** 10.5604/01.3001.0053.6743

