

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

DYSCYPLINA NAUKOWA INŻYNIERIA LĄDOWA, GEODEZJA  
I TRANSPORT  
DZIEDZINA NAUK INŻYNIERYJNO-TECHNICZNYCH

## Rozprawa doktorska

mgr inż. Katarzyna Grzybowska

Metoda oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika  
na etapie badań prototypu ambulansu medycznego

Promotor  
prof. dr hab. inż. Iwona Grabarek

Promotor pomocniczy  
dr inż. Sylwia Bęczkowska

WARSZAWA 2024



*Składam serdeczne podziękowania Pani prof. dr hab. inż. Iwonie Grabarek  
za opiekę naukową, zaangażowanie, poświęcony czas, życzliwość  
oraz wszelką pomoc okazaną mi w realizacji tej pracy.*

*Dziękuję bardzo również mojemu promotorowi pomocniczemu  
Pani dr inż. Sylwii Bęczkowskiej za wsparcie merytoryczne  
oraz Pani mgr inż. Zuzannie Zysk za pomoc przy realizacji badań.*

*Słowa podziękowania należą się także Panu Dyrektorowi dr Leszkowi Szpakowskiemu  
za udostępnienie ambulansu do przeprowadzonych badań naukowych  
oraz całemu zespołowi ratowników medycznych „RM-Meditrans” w Siedlcach,  
a w szczególności Panu dr n. o zdr. Danielowi Celińskiemu za udział w badaniach.*

*Osobne, równie ważne, podziękowania składam na ręce mojego męża Piotra,  
za wsparcie, cierpliwość i wyrozumiałość.*

*Pragnę też szczególnie podziękować Rodzicom oraz siostrze Małgorzacie,  
którzy zawsze we mnie wierzyli, wspierali i motywowali przy powstaniu tej pracy.*



## STRESZCZENIE

Ambulans medyczny to środek transportu przeznaczony do udzielania pomocy pacjentom. Jednocześnie stanowi on główne miejsce pracy ratowników medycznych, a tym samym może być źródłem wielu zagrożeń, które przyczyniają się do rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych u ratowników. Powyższe negatywne skutki wynikają z przyjmowania przez ratowników wymuszonych i nienaturalnych pozycji podczas pracy, a to z kolei ma swoje źródło w niskim poziomie ergonomicznym wnętrza kabiny ambulansu.

W niniejszej dysertacji opracowano metodę kompleksowej oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika medycznego stosowanej na etapie badań prototypu ambulansu medycznego i obejmującej metodykę identyfikacji pozycji roboczych ratownika oraz ocenę poziomu dyskomfortu pracy. Wykorzystanie metody na etapie prototypowania kabiny ambulansu wynika po pierwsze z konieczności zastosowania zaawansowanych technik pomiarowych i specjalistycznej aparatury, których nie stosuje się w standardowych metodach oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy, a po drugie tylko na tym etapie życia obiektu technicznego można jeszcze wprowadzić zmiany konstrukcyjne, które zapewnią prawidłowe warunki pracy.

W trakcie realizacji pracy dokonano przeglądu literatury dotyczącej wymagań prawnych, specyfiki pracy ratownika medycznego oraz uciążliwości występujących na jego stanowisku pracy. Scharakteryzowano również obiekt badań – ambulans medyczny.

Uzyskanie wiedzy niezbędnej do budowy metody oceny poziomu ergonomicznego wymagało przeprowadzenia wieloaspektowych badań, zakładających wykorzystanie zarówno metod ilościowych jak i jakościowych. Opinie ratowników dotyczące warunków pracy pozyskano z badań ankietowych. We współpracy z Samodzielnym Publicznym Zakładem Opieki Zdrowotnej RM Meditrans w Siedlcach, zrealizowano badania w ambulansie, które umożliwiły identyfikację pozycji roboczych ratownika w trakcie wykonywania procedur medycznych, dzięki pomiarom napięcia mięśniowego metodą sEMG (elektromiografia powierzchniowa) oraz zakresów ruchów metodą rejestracji kinematyki ruchu (MyoMotion). Analizie poddano pięć najczęściej wykonywanych procedur w trakcie dyżurów. Obserwacja i analiza czynności ratownika bazowała na materiale filmowym zarejestrowanym w trakcie pomiarów. Jej wyniki wykorzystano również w ocenie ryzyka zawodowego przy użyciu metody REBA (Rapid Entire Body Assessment). Analiza wyników uzyskanych z pomiarów napięcia mięśniowego i kinematyki ruchu wykazała szereg przeciążeń występujących u ratowników podczas pracy i powtarzających się niezależnie od wykonywanej procedury. Ich występowanie potwierdziła również ocena ryzyka.

Wyniki te wykorzystano w budowie modelu oceny poziomu dyskomfortu pracy. Model opracowano z zastosowaniem metod heurystycznych, a dokładniej wnioskowania rozmytego, przy czym wykorzystano model Mamdaniego, dla którego opracowano model lingwistyczny na podstawie wiedzy eksperckiej i badań własnych. Model ten zaimplementowano w środowisku Matlab\_Simulink. Opracowaną metodę oceny dyskomfortu zastosowano w wybranym ambulansie medycznym marki Mercedes. Otrzymane wyniki oceny wykazały dyskomfort podczas wykonywanych procedur i jednocześnie pozwoliły zdefiniować główne jego źródła.

Słowa kluczowe: ambulans medyczny, ergonomia, zagrożenia na stanowisku pracy, ratownik medyczny

## **ABSTRACT**

A medical ambulance is a transport designed to provide assistance to patients. On the other hand, it is the main workplace for paramedics where they might be exposed to the development of musculoskeletal disorders. It results from forced and unnatural body position while working in the ambulance, which has its source in the low ergonomic level of the interior of the ambulance cabin.

This thesis develops a method for comprehensive assessment of the ergonomic level of a paramedic's workplace used at the stage of research on a medical ambulance prototype, including a methodology for identifying the paramedic's working positions and assessing the level of work discomfort. The use of the proposed method at the stage of prototyping an ambulance cabin results, firstly, from the need to use advanced measurement techniques and specialized equipment that are not used in standard methods for assessing the ergonomic level of a workstation, and secondly, changes, that will ensure proper working conditions, can be introduced only at this stage of the life of a technical object.

During the study, a review of the literature regarding legal requirements, the specificity of a paramedic's work and the difficulties occurring at his workplace was carried out. The research object - a medical ambulance - was also characterized.

Obtaining the knowledge necessary to build a method for assessing the ergonomic level required conducting multi-aspect research, involving the use of both quantitative and qualitative methods. The opinions of professional rescuers regarding working conditions were obtained from surveys. In cooperation with the Independent Public Health Care Center RM Meditrans in Siedlce, research was carried out in the ambulance, which enabled the identification of the rescuer's working positions during medical procedures. The measurement of muscle tension using the EMG method (surface electromyography) and the range of movements using the kinematics of motion recording method (MyoMotion) was used. The five most frequently performed medical procedures were analysed. Observation and analysis of the rescuer's activities were based on video material recorded during measurements. Its results were also used in occupational risk assessment using the REBA (Rapid Entire Body Assessment) method. The analysis of the results obtained from measurements of muscle tension and movement kinematics showed a number of overloads occurring during paramedic's work and recurring regardless of the specific procedure performed. It was also confirmed by a risk assessment.

The above findings were used to build a model for assessing the level of work discomfort. The model was developed using heuristic methods, more specifically fuzzy inference. The Mamdani model was used, for which a linguistic model was developed based on

expert knowledge and own research. This model was implemented in the Matlab\_Simulink environment. The developed method for assessing discomfort was used in Mercedes ambulance. The obtained assessment results showed discomfort during the medical procedures and allowed to define its main sources.

Keywords: medical ambulance, ergonomics, hazards at the workplace, paramedic



## Spis treści

|  |    |
|--|----|
| STRESZCZENIE .....   | 5  |
| ABSTRACT .....   | 7  |
| Spis treści .....  | 9  |
| 1. Wstęp.....  | 11 |
| 2. Identyfikacja obszaru badawczego .....  | 13 |
| 2.1. Rys historyczny i unormowania prawne .....  | 13 |
| 2.2. Specyfika pracy ratownika medycznego.....   | 13 |
| 2.3. Szkodliwe i uciążliwe czynniki środowiska pracy ratowników - analiza literatury .....   | 17 |
| 2.3.1. Czynniki psychospołeczne .....  | 18 |
| 2.3.2. Czynniki biologiczno-chemiczne .....  | 19 |
| 2.3.3. Czynniki ergonomiczne.....  | 20 |
| 2.4. Przesłanki podjęcia tematu .....  | 28 |
| 3. Cel, teza i zakres rozprawy .....   | 30 |
| 4. Charakterystyka obiektu badań .....   | 32 |
| 4.1. Wyposażenie sprzętowe ambulansu .....   | 34 |
| 4.2. Wymagania normatywne dotyczące struktury przestrzennej i wyposażenia ambulansu .....  | 36 |
| 5. Założenia kompleksowej metody oceny poziomu ergonomicznego .....  | 39 |
| 6. Badania eksperymentalne – pozyskanie wiedzy do budowy kompleksowej oceny poziomu ergonomicznego .....                               | 42 |
| 6.1. Dobór karetki jako obiektu badań i procedur medycznych.....   | 42 |
| 6.2. Identyfikacja pozycji roboczych ratownika medycznego w ambulansie .....   | 43 |
| 6.2.1. Badania ankietowe .....   | 43 |
| 6.2.1.1. Procedura przebiegu badań .....   | 44 |
| 6.2.1.2. Wyniki badań ankietowych.....   | 44 |
| 6.2.2. Obserwacje .....  | 47 |
| 6.2.2.1. Procedura przebiegu badań .....   | 48 |
| 6.2.2.2. Analiza uzyskanych wyników.....   | 48 |
| 6.2.3. Pomiar napięcia wybranych mięśni metodą elektromiografii powierzchniowej podczas wykonywania wybranych procedur medycznych..... | 51 |
| 6.2.3.1. Procedura przebiegu badań .....   | 52 |
| 6.2.3.2. Analiza uzyskanych wyników.....   | 55 |
| 6.2.4. Rejestracja kinematyki ruchu podczas wykonywania wybranych procedur medycznych.....   | 63 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 6.2.4.1. | Procedura przebiegu badań .....   | 64  |
| 6.2.4.2. | Analiza wyników .....   | 68  |
| 6.2.5.   | Ocena ryzyka podczas wykonywania wybranych procedur medycznych za pomocą metody REBA (Rapid Entire Body Assessment) ..... | 72  |
| 6.2.5.1. | Procedura przebiegu badań .....   | 73  |
| 6.2.5.2. | Analiza uzyskanych wyników .....  | 76  |
| 6.3.     | Podsumowanie uzyskanych wyników .....   | 83  |
| 7.       | Opracowanie modelu rozmytego oceny poziomu dyskomfortu .....  | 85  |
| 7.1.     | Założenia do budowy modelu .....  | 85  |
| 7.2.     | Określenie kryteriów oceny parametrów wejściowych modelu .....  | 87  |
| 7.3.     | Budowa modeli lingwistycznych .....   | 89  |
| 7.3.1.   | Submodel wskaźnika dyskomfortu $WDK_{EMG}$ .....  | 89  |
| 7.3.2.   | Submodel wskaźnika dyskomfortu $WDK_{MM}$ .....   | 90  |
| 7.3.3.   | Model Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu (ZWDK): .....  | 96  |
| 7.4.     | Budowa modeli rozmytych i ich implementacja numeryczna .....  | 98  |
| 7.5.     | Wyniki badań symulacyjnych .....  | 109 |
| 8.       | Implementacja metody oceny w wybranej karetkce .....  | 114 |
| 9.       | Identyfikacja źródeł uciążliwości .....   | 117 |
| 10.      | Wnioski i podsumowanie .....  | 121 |
|          | Bibliografia .....  | 125 |
|          | Spis rysunków .....   | 134 |
|          | Spis tabel .....  | 137 |
|          | Załącznik nr 1 – Ankieta .....  | 139 |
|          | Załącznik nr 2 – Tabele stosowane do oceny ryzyka za pomocą metody REBA .....   | 141 |
|          | Załącznik nr 3 – Dane do budowy submodeli i modeli lingwistycznych zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu .....             | 142 |

## 1. Wstęp

Stan zdrowia populacji ludzkiej uwarunkowany jest w dużej mierze czynnikami środowiskowymi, do których zalicza się rodzaj wykonywanej pracy oraz związane z nią obciążenia. Badanie Global Burden of Disease (GBD) przeprowadzone w 2019 roku wykazało, że, około 1,71 miliarda ludzi na całym świecie cierpi na schorzenia układu mięśniowo-szkieletowego [41]. Schorzenia układu mięśniowo-szkieletowego są główną przyczyną niepełnosprawności na całym świecie, a ból krzyża jest główną przyczyną niepełnosprawności w 160 krajach. Schorzenia układu mięśniowo-szkieletowego znacznie ograniczają mobilność i zręczność, co prowadzi do wcześniejszej emerytury, obniżenia poziomu dobrostanu i ograniczonej zdolności do uczestnictwa w społeczeństwie [52].

Dane dotyczące Polski wskazują, że aż 70% pracowników wymienia dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego jako swój najpoważniejszy problem zdrowotny wynikający z wykonywanej pracy [51]. Zatem dolegliwości te stanowią poważny problem w populacji osób pracujących. W Polsce, według danych Zakładu Ubezpieczeń Społecznych, w 2023 roku były one najczęstszą przyczyną absencji chorobowej z tytułu choroby własnej, tzn. 17,0% ogólnej liczby dni nieobecności w pracy [84]. Należy podkreślić, że tendencja ta ma charakter wzrostowy w stosunku do 2022 r., w którym dni absencji chorobowej z powodu dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego stanowiły 16,4 % całkowitej liczby dni absencji [83]. Powszechność występowania chorób układu mięśniowo-szkieletowego w populacji pracującej, generuje również istotny problem ekonomiczny, związany z kosztami wynikającymi z niezdolności do wykonywania pracy oraz nieobecności w pracy. Warto zaznaczyć, że w całej Europie dotyczą one milionów pracowników i kosztują pracodawców miliardy euro [39].

Pracownicy służby zdrowia, w szczególności ratownicy medyczni, uznawani są za grupę zawodową najbardziej narażoną na ryzyko występowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowych [57]. Przede wszystkim występuje u nich zespół bólowy kręgosłupa (ZBK) w dolnym odcinku [33], który zalicza się do najczęściej występujących schorzeń cywilizacyjnych. Negatywny wpływ pracy na występowanie chorób narządu ruchu wynikający z nieprawidłowych warunków pracy potwierdza zarówno polska, jak i zagraniczna literatura [17, 34, 53]. Anglojęzyczna literatura definiuje je jako „work-related musculoskeletal disorders” (WRMSDs). Objawy chorób układu mięśniowo-szkieletowego narastają w czasie. Mogą one występować podczas pracy, bezpośrednio po niej lub po wielu latach.

Ratownikom medycznym podczas codziennej wielogodzinnej pracy towarzyszą negatywne objawy, takie jak: ból, dyskomfort i złe samopoczucie spowodowane obciążeniem

mięśniowo-szkieletowym. Jedną z głównych przyczyn jest utrzymywanie nieodpowiednich, wymuszonych, wysoce stresujących, statycznych pozycji ciała przyjmowanych podczas wykonywania procedur medycznych.

Bezpieczeństwo i zdrowie ratowników medycznych są fundamentalną zasadą funkcjonowania każdego systemu ratowniczego na świecie. W związku z tym, priorytetem powinno być zapewnienie ratownikom bezpiecznych i ergonomicznych warunków pracy.

Zadania ratownika medycznego obejmują szeroki zakres obowiązków, dlatego bardzo trudno jest zidentyfikować jego pojedyncze miejsce pracy. Pracuje wszędzie tam, gdzie potrzebna jest jego pomoc. Wyniki badań przeprowadzonych w wielu krajach pokazują, że czas spędzony w kabinie ambulansu, podczas wykonywania zabiegów medycznych, stanowi około 44% aktywnej pracy poświęconej na pomoc pacjentowi [28]. Fakt ten wpłynął na wybór obiektu badań w niniejszej dysertacji, którym jest kabina ambulansu medycznego. Będąc miejscem pracy ratowników jest jednocześnie źródłem wielu zagrożeń i przyczyną chorób mięśniowo-szkieletowych.

W niniejszej rozprawie podjęto się opracowania autorskiej metody oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika medycznego stosowanej na etapie badań prototypu ambulansu medycznego. Pojęcia „karetka ratunkowa” oraz „ambulans” będą używane w rozprawie zamiennie.

## **2. Identyfikacja obszaru badawczego**

### **2.1. Rys historyczny i unormowania prawne**

Wysoki wskaźnik śmiertelności ludzi z powodu wypadków, katastrof oraz chorób przyczynił się do powstania zawodu ratownika. W Polsce powstał na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Głównym założeniem było posiadanie przez osobę pełniącą zawód ratownika medycznego uprawnień do ratowania osób znajdujących się w stanie nagłego zagrożenia zdrowia i życia [65]. Stan nagłego zagrożenia zdrowotnego definiowany jest jako stan polegający na nagłym lub przewidywanym w krótkim czasie pojawieniu się objawów pogarszania zdrowia, którego bezpośrednim następstwem może być poważne uszkodzenie funkcji organizmu lub uszkodzenie ciała lub utrata życia, wymagający podjęcia natychmiastowych medycznych czynności ratunkowych i leczenia [106].

Przez pierwsze dziesięć lat kształcenia ratowników medycznych w Polsce, zawód nie został uwzględniony w ustawie o zawodach, jak również nie miał żadnego aktu prawnego określającego uprawnienia zawodowe [65]. Przełomowym momentem w tworzeniu systemu Państwowego Ratownictwa Medycznego stała się uchwalona 25 lipca 2001 roku pierwsza ustawa o Państwowym Ratownictwie Medycznym, pomimo tego, iż uregulowała wiele kwestii tylko pobieżnie [114]. Ustawa zapoczątkowała kluczowy etap w rozwoju ratownictwa medycznego w Polsce, jednak jej nieprecyzyjność sprawiła podjęcie prac nad nowymi rozwiązaniami. Prace nad nowelizacją trwały do 6 września 2006 roku, natomiast 12 października prezydent RP podpisał Ustawę o ratownictwie medycznym [29]. Od stycznia 2007 roku obowiązującym aktem prawnym jest Ustawa z 8 września 2006 roku o Państwowym Ratownictwie Medycznym [106]. Celem ustawy jest określenie zasad organizacji, funkcjonowania i finansowania systemu ratownictwa medycznego.

### **2.2. Specyfika pracy ratownika medycznego**

Ze względu na specyfikę pracy w wyjazdowych zespołach ratownictwa medycznego (ZRM) trudno jest zidentyfikować miejsce pracy ratownika. W tej kwestii można posłużyć się pojęciem – obszar działania. Poszczególnym obszarom odpowiadają zlokalizowane na ich terenie bazy w których stacjonują ZRM. Wielkość obszaru działania zależy od lokalizacji, gęstości zaludnienia, zapotrzebowania na usługi z zakresu ratownictwa [21].

Można stwierdzić, że ratownik medyczny pracuje tam, gdzie niezbędna jest jego pomoc. Nie ma ograniczeń, co do miejsca udzielania pomocy przez ratowników. Mogą to być wszystkie

miejsca publiczne, jak i prywatne. Jednym z głównych miejsc pracy ratownika medycznego jest również ambulans medyczny, gdzie spędza znaczącą część czasu pracy, obejmującego podróż do pacjenta, a następnie transport pacjenta do szpitala.

Zespoły ratownictwa medycznego to jednostki systemu Państwowego Ratownictwa Medycznego, które poza szpitalem udzielają pomocy medycznej osobom w stanie nagłego zagrożenia zdrowotnego [46]. Dotyczy to zarówno stanów zagrożenia życia pochodzenia wewnętrznego np. ostry zespół wieńcowy czy udar mózgu jak i nagłych zagrożeń w urazach np. wypadek komunikacyjny. Ponadto zespoły ratownictwa medycznego udzielają świadczeń medycznych w przypadku porodu oraz pacjentom z zaburzeniami psychicznymi [10].

Zespoły ratownictwa medycznego dzielą się na:

- zespoły specjalistyczne, w skład których wchodzi co najmniej trzy osoby uprawnione do wykonywania medycznych czynności ratunkowych, w tym lekarz systemu oraz pielęgniarka systemu lub ratownik medyczny,
- zespoły podstawowe, w skład których wchodzi co najmniej dwie osoby uprawnione do wykonywania medycznych czynności ratunkowych będące pielęgniarką systemu lub ratownikiem medycznym,
- zespoły lotniczego pogotowia ratunkowego, w skład których wchodzi co najmniej trzy osoby, w tym co najmniej jeden pilot zawodowy, lekarz systemu oraz ratownik medyczny lub pielęgniarka systemu [106].

W Polsce, według stanu w dniu 31 grudnia 2022 r. w skład zespołów ratownictwa medycznego wchodziło 12,9 tys. pracowników. Najliczniejszą grupę – prawie 11,0 tys. – stanowili ratownicy medyczni. Ponadto w zespołach pracowało ponad 1,1 tys. pielęgniarek systemu ratownictwa medycznego, ponad 0,3 tys. lekarzy systemu ratownictwa medycznego i blisko 0,4 tys. innych osób (kierowcy/piloci). Zespoły ratownictwa medycznego zrealizowały w 2022 r. prawie 3,1 mln wyjazdów/wylotów na miejsce zdarzenia. Najwięcej (78,0%) wyjazdów/wylotów zespołów ratownictwa medycznego stanowiły wyjazdy/wyloty do domu pacjenta. W ramach Systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne w 2022 r. funkcjonowało 1592 zespołów ratownictwa medycznego (o 5 więcej niż w 2021 r.), z czego 1271 podstawowych i 321 specjalistycznych. Podobnie jak w latach ubiegłych odnotowano spadek liczby zespołów specjalistycznych przy jednoczesnym wzroście liczby zespołów podstawowych. Doraźnej pomocy medycznej udzielały również lotnicze zespoły ratownictwa medycznego z 21 baz Lotniczego Pogotowia Ratunkowego, a także 244 szpitalnych oddziałów ratunkowych (SOR) [82].

Priorytetem w pracy ratownika medycznego jest szybkie, sprawne i profesjonalne udzielanie pomocy osobie bądź osobom, których zdrowie lub życie jest zagrożone. Dyspozytor medyczny powiadamia ratownika o zdarzeniu, do którego potrzebna jest interwencja. Po otrzymaniu wezwania, ratownik ma obowiązek jak najszybciej dotrzeć do miejsca zdarzenia, w razie konieczności zabezpieczyć to miejsce, a następnie przystąpić do oceny zdrowia poszkodowanego, ciężkości i rozległości urazów, udzielenia medycznych czynności ratunkowych, podtrzymywania funkcji życiowych, a w czasie transportu do szpitala zobowiązany jest do zapewnienia opieki nad pacjentem [96, 101].

Zgodnie ustawą o Ratownictwie Medycznym [106] zawód ratownika medycznego może być wykonywany przez osobę posiadającą pełną zdolność do czynności prawnych, odpowiedni stan zdrowia oraz posługującą się językiem polskim w mowie i w piśmie, w stopniu wystarczającym do wykonywania zawodu ratownika medycznego. Ponadto wymagane jest ukończenie studiów wyższych na kierunku lub specjalności ratownictwo medyczne lub policealnej szkoły uzyskując tytuł zawodowy ratownika medycznego. Dopuszczalne są również uprawnienia zawodowe nadane w krajach Unii Europejskiej, Państwach Konfederacji Szwajcarskiej, państwie członkowskim Europejskiego Porozumienia o Wolnym Handlu lub innym państwie, którego dyplom równoważony jest z dyplomem uzyskiwanym w Rzeczypospolitej Polskiej [106].

W ustawie o Państwowym Ratownictwie Medycznym, opisano czynności wykonywane przez ratownika medycznego, do których należą [106]:

- udzielanie świadczeń zdrowotnych, w tym medycznych czynności ratunkowych udzielanych samodzielnie lub na zlecenie lekarza,
- zabezpieczenie osób znajdujących się w miejscu zdarzenia oraz podejmowaniu działań zapobiegających zwiększeniu liczby osób w stanie nagłego zagrożenia zdrowotnego,
- transportowanie osób w stanie nagłego zagrożenia zdrowotnego,
- udzielanie wsparcia psychicznego w sytuacji powodującej stan nagłego zagrożenia zdrowotnego,
- edukacja zdrowotna i promocja zdrowia.

Wykonując swoje obowiązki ratownik medyczny powinien postępować zgodnie ze wskazaniami aktualnej wiedzy oraz należytą starannością [101].

Szczegółowy zakres medycznych czynności ratunkowych wykonywanych przez ratownika samodzielnie lub pod nadzorem lekarza oraz świadczeń zdrowotnych innych niż medyczne czynności ratunkowe, które mogą być udzielane przez ratownika medycznego samodzielnie lub

na zlecenie określa Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 16 grudnia 2019 w sprawie medycznych czynności ratunkowych i świadczeń zdrowotnych innych niż medyczne czynności ratunkowe, które mogą być udzielane przez ratownika medycznego [91].

Załącznik nr 1 do w/w ustawy wymienia medyczne czynności ratunkowe, które mogą być udzielane samodzielnie przez ratownika medycznego, a załącznik nr 2 określa medyczne czynności ratunkowe, które mogą być udzielane przez ratownika medycznego pod nadzorem lekarza systemu [91].

Przykładowe czynności ratunkowe wykonywane przez ratownika samodzielnie to [91]:

1. ocena stanu pacjenta,
2. układanie pacjenta w pozycji właściwej dla stanu pacjenta lub odniesionych obrażeń,
3. podjęcie i prowadzenie podstawowej i zaawansowanej resuscytacji krążeniowo-oddechowej zgodnie z aktualną wiedzą medyczną,
4. wykonanie intubacji dotchawiczej i prowadzenie wentylacji nieinwazyjnej w nagłym zatrzymaniu krążenia,
5. wykonanie defibrylacji manualnej na podstawie EKG lub zapisu kardiomonitora,
6. wykonanie i ocena zapisu EKG,
7. monitorowanie czynności układu oddechowego,
8. monitorowanie czynności układu krążenia metodami nieinwazyjnymi,
9. podawanie leków drogą dożylną, domięśniową, podskórną, doustną, podjęzykową, wziewną, dotchawiczą, doodbytniczą oraz doszpikową,
10. opatrywanie ran,
11. tamowanie krwawień zewnętrznych,
12. unieruchamianie złamań, zwichnięć i skręceń,
13. unieruchamianie kręgosłupa ze szczególnym uwzględnieniem odcinka szyjnego,
14. przyjęcie porodu,
15. przygotowanie pacjenta do transportu i opieka medyczna podczas transportu.

W dalszej części rozporządzenia, zostały przedstawione medyczne czynności ratownicze, które mogą być wykonywane, przez ratownika medycznego pod nadzorem lekarza systemu. Do nich zaliczamy między innymi [91]:

1. wykonanie intubacji dotchawiczej z użyciem środków zwiotczających,
2. asystowanie przy innych medycznych czynnościach ratunkowych niewymienionych w załączniku nr 1 do rozporządzenia,
3. podawanie leków.



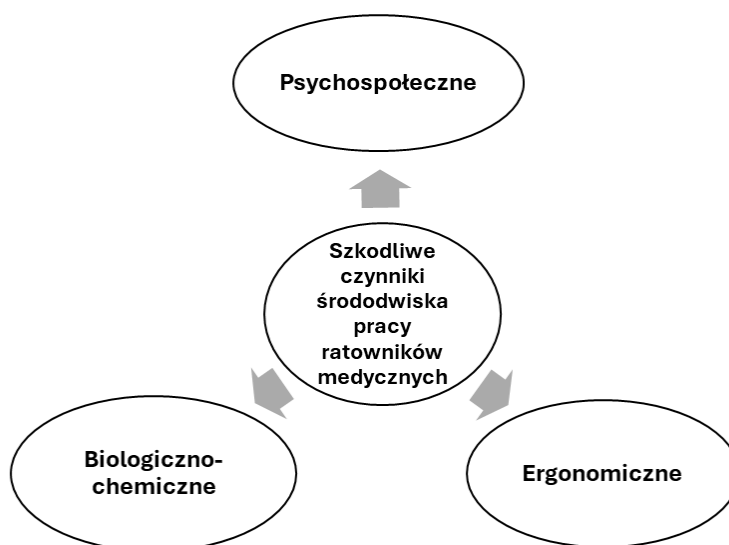
Ratownik medyczny pracuje w systemie zmianowym, dwunastogodzinnych lub dwudziestoczworogodzinnych dyżurów medycznych. Czas pracy ratowników medycznych regulowany jest przez rozdział czwarty, trzeci dział ustawy z dnia 15 kwietnia 2011 r. o działalności leczniczej. Praca odbywa się w dzień, w nocy, a także w dni ustawowo wolne od pracy [104]. Ratownik zobowiązany jest być w stałej gotowości do akcji. Ponadto odpowiada za stan higieniczny ambulansu i sprzętu medycznego. Do jego zadań należy również między innymi: uzupełnianie brakujących leków, dbanie o stan wyposażenia, prowadzenie bieżącej dokumentacji medycznej, a przede wszystkim wykonywanie procedur medycznych, zgodnie z posiadanymi kwalifikacjami oraz zasadami dobrej praktyki medycznej [21].

Zakres czynności medycznych jest bardzo szeroki. Wymaga korzystania ze specjalistycznych urządzeń jak również materiałów medycznych. Struktura wewnętrzna ambulansu powinna ułatwiać wykonywanie wszystkich czynności poprzez prawidłowo zaprojektowane rozmieszczenie sprzętu jak i środków medycznych.

### 2.3. Szkodliwe i uciążliwe czynniki środowiska pracy ratowników - analiza literatury

Niezależnie od obszaru działania, ratownicy codziennie narażeni są na oddziaływanie wielu niebezpiecznych, szkodliwych i uciążliwych czynników [110]. Zagrożenia towarzyszące pracy ratownika medycznego mają różny charakter i w różnym stopniu wpływają na ryzyko zawodowe [97, 113]. Zagrożenia dla człowieka w środowisku pracy są określane jako stan środowiska pracy, mogący spowodować wypadek lub chorobę pracownika [103].

Poniżej zostały przedstawione szkodliwe czynniki środowiska pracy ratowników medycznych (Rys.1).



Rys. 1. Szkodliwe czynniki środowiska pracy ratowników medycznych [opracowanie własne]

### 2.3.1. Czynniki psychospołeczne

Do czynników psychospołecznych w pracy zawodowej ratownika medycznego należą [111]:

- przemoc i agresja,

Ratownicy medyczni podczas wykonywania czynności medycznych często narażeni są na niebezpieczne zachowanie pacjentów skierowane w ich kierunku [35]. Zdarza się, że pacjenci wymagający ratowania życia i zdrowia zachowują się agresywnie w stosunku do najbliższego otoczenia, nawet tego, które spieszy im z pomocą. Przemoc i agresja pacjentów w stosunku do pracowników medycznych, w tym ratowników jest coraz częściej spotykanym zjawiskiem [37, 56, 107]

Statystyki wskazują, że agresja ze strony pacjentów wobec personelu medycznego w Polsce z roku na rok wrasta [40, 49]. Do głównych przyczyn zalicza się nadużywanie alkoholu oraz zażywanie środków odurzających przez pacjentów. Badania wykazują, że w chwili urazu pod wpływem używek znajduje się do 40% poszkodowanych, którym udzielana jest pomoc przez zespoły medyczne [111]. Często osoby z otoczenia takiego pacjenta są także pod wpływem alkoholu bądź też innych używek, co wiąże się z tym, że przejawiają również zachowanie agresywne w stosunku do zespołu ratownictwa medycznego. Tego typu zachowania uznawane są za agresje w miejscu pracy [25]. Zdarza się, że incydenty z pijanymi pacjentami przybierają dramatyczny przebieg.

W badaniach ankietowych przeprowadzonych wśród 128 pracowników ZRM województwa łódzkiego i wielkopolskiego w terminie od października 2013 do lutego 2014 roku wykazały, że z agresywnym zachowaniem ze strony pacjenta spotkała się przeważająca większość badanych (83,3%) [25].

- Stres w pracy

Częstym zjawiskiem wśród personelu ratownictwa medycznego jest również stres związany z pracą [66, 71, 80]. Do źródeł stresu zalicza się przede wszystkim nadmiar obowiązków oraz traumatyczne wydarzenia, z którymi ratownicy spotykają się na co dzień [73, 74, 108]. Udział w sytuacjach wymagających szybkich działań medycznych, częsta konfrontacja z zagrożeniem życia ludzkiego i poczucie bezsilności podczas procesów ratowniczych, przyczynia się do wyczerpania psychicznego [10, 56, 109].

Szczególnie stresogennym czynnikiem jest częste obcowanie z umierającymi pacjentami jak również kontakt z rodziną pacjentów [10, 78]. Przeprowadzone badanie ankietowe w 2010 r. w Poznaniu wśród 54 ratowników medycznych wykazało, że 60% osób z badanej grupy zmagają się ze stresem, który ma również wpływ na codzienne, prywatne życie

[10]. W badaniach przeprowadzonych wśród 214 ratowników medycznych przy pomocy kwestionariusza wykazano, że większość ankietowanych za główny stresor uważa wysoki poziom odpowiedzialności w związku z wykonywaną pracą [31].

Stres jest główną przyczyną wypalenia zawodowego wśród ratowników [62, 77, 94]. Dodatkowo wysoki poziom wymagań, wysokie tempo pracy, niewłaściwe warunki pracy, nieodpowiedni system zarządzania w instytucji, trudności interpersonalne, niewątpliwie powodują spadek energii i niechęć do pracy, a w konsekwencji do wypalenia zawodowego [62].

Zawód ratownika medycznego jest także w dużym stopniu narażony na zespół stresu pourazowego, który charakteryzuje się przykładowo takimi objawami jak: strach, lęk, problemy ze snem [10, 64, 100]. W badaniu przeprowadzonym wśród 36 osób pracujących w zawodzie ratownika medycznego stwierdzono, że wszyscy ratownicy medyczni wykazywali objawy stresu pourazowego [78]. Przykładowo wśród personelu pogotowia ratunkowego w RPA występowanie zespołu stresu pourazowego wynosiło 6,67% (w 2005 r.) i 16% (w 2014 r.) [76].

- Zmianowy system pracy

Kolejnym czynnikiem, który negatywnie wpływa na pracę ratownika medycznego jest zmianowy system pracy [16, 63]. Praca zmianowa zwiększa ryzyko wypadku przy pracy [111], a długotrwała praca zmianowa, może skutkować [69]: problemami ze snem, zaburzeniami nastroju, spadkiem czujności oraz poziomu koordynacji wzrokowo-ruchowej, zwiększeniem nadużywania alkoholu, środków psychoaktywnych, kawy, papierosów.

### **2.3.2. Czynniki biologiczno-chemiczne**

Czynniki biologiczne, jak i chemiczne występujące w środowisku pracy ratowników medycznych stanowią zagrożenie dla ich zdrowia i życia [89]. Z założenia ratownicy powinni traktować każdego pacjenta jako osobę potencjalnie zakaźną, ponieważ nie zawsze mają możliwość ustalenia czy poszkodowany jest nosicielem chorób zakaźnych. W tym przypadku tylko profilaktyczne zachowanie ratowników może uchronić ich przed zakażeniem [50, 95]. Do źródeł zakażeń zalicza się również aparatura, sprzęt medyczny, urządzenia sanitarne. Czynniki chorobotwórcze wnikają do organizmu poprzez drogę kropelkową błonę śluzową, naruszenie ciągłości skóry w wyniku urazu czy zakłucia [12]. Czynniki biologiczne mogą wykazywać działanie zakaźne, alergizujące, toksyczne, drażniące i alergizujące. Do czynników biologicznych zaliczane są: bakterie, wirusy, priony, grzyby, patogeny chorobotwórcze i pasożyty.

Najczęstszymi przyczynami zakłuć/skałceń są: szybkie działania w stanach zagrożenia życia i zdrowia, poruszenie się pacjenta podczas iniekcji oraz awarie sprzętu

medycznego. Zachowanie dużego bezpieczeństwa i ostrożności pomaga zminimalizować prawdopodobieństwo zakażenia, natomiast mimo wszystko w zawodach medycznych zagrożenie jest bardzo duże. Ratownicy powinni zapobiegać szerzeniu się zakażeń poprzez stosowanie indywidualnych środków ochrony, do których zaliczane są: odzież ochronna, maseczki jednorazowego użytku, okulary, przyłbice, rękawiczki jednorazowego użytku [65].

Ponadto personel medyczny podczas wykonywania obowiązków służbowych narażony jest również na substancje chemiczne, które zazwyczaj mają działanie drażniące lub wywołujące reakcje alergiczne. Zaliczyć można do nich środki stosowane do dezynfekcji i sterylizacji, lateks, leki, chemikalia występujące w miejscu zdarzenia, czy też gazy anestetyczne [88]. Powyższe gazy wdychane przez ratowników są przyczyną występujących chorób układu nerwowego, rozrodczego, wątroby, nerek, a także wpływają na krążenie mózgowe. Co więcej, ratownicy narażeni na działanie gazów odczuwają ból głowy, zmęczenie, drażliwość oraz bezsenność [111]. Wśród czynników chemicznych wspomniany lateks jest jedną z głównych przyczyn występujących alergii. W celu zminimalizowania ryzyka narażenia ratowników na niepotrzebne dolegliwości z nim związane, wprowadzone zostały na rynek nitrylowe rękawiczki ochronne, które pod względem bezpieczeństwa wyróżnia lepsza ochrona [111].

Do czynników chemicznych zaliczają się również substancje o charakterze toksycznym. Dymy wydzielające się podczas pożaru są ich najczęstszym źródłem. Oddziaływanie ich na organizm ludzki przyczynia się do pogorszenia stanu zdrowia, które przejawia się między innymi zatruciami, bądź też uszkodzeniami organów wewnętrznych [101].

### **2.3.3. Czynniki ergonomiczne**

Źródłem wielu zagrożeń jest nieprawidłowa konstrukcja i wyposażenie wnętrza przedziału pacjenta ambulansu, które może być przyczyną urazów i ciężkich uszkodzeń ciała ratowników, w wyniku np.: uderzenia o nieruchome i ruchome elementy przedmioty, które stanowią wyposażenie każdej karetki pogotowia. Przedmioty te zwykle są ciężkie i mają ostre, niezabezpieczone krawędzie. Opis wadliwych rozwiązań struktury przestrzennej ambulansu, charakteryzujących się z jednej strony brakiem zabezpieczenia elementów wyposażenia a z drugiej nieprawidłowym ich rozmieszczeniem i tym samym brakiem dostępu z pozycji siedzącej do niezbędnego sprzętu i materiałów medycznych można znaleźć w wielu publikacjach [15, 20, 26, 68].

Ratownicy medyczni oceniający karetki eksploatowane w Malezji [90] określili jako złe lub bardzo złe między innymi następujące cechy: całkowitą przestrzeń (60%), przestrzeń nad

głową (40%), dostęp do pacjenta (43,3%), możliwość dostępu do wyposażenia w pozycji siedzącej (50%).

W 2002 r. zostało przeprowadzone badanie w brytyjskiej karetce pogotowia pod kątem bezpieczeństwa pracy ratowników medycznych. Ratownicy medyczni byli obserwowani przez 16 zmian, podczas których wykonywali szereg procedur medycznych. W wyniku obserwacji stwierdzono, że przyszły projekt ambulansu powinien opierać się na analizie ergonomicznej, ponieważ ponad 40% przyjmowanych pozycji podczas pracy ratowników medycznych wymaga działań korygujących [23]. Wykazano, że 116 osób z 271 uczestników badania oceniło komfort siedzenia w ambulansie na poziomie – złym, a 49 – bardzo złym. Podobnie oparcie, będące elementem konstrukcyjnym foteli, wpływającym na komfort siedzenia - bardzo źle oceniło 95 ratowników medycznych a 105 - źle.

W badaniach prowadzonych w Izraelu [28] wykorzystano kwestionariusze, wywiady z ratownikami, obserwacje realizowanych procedur medycznych w ambulansach, które posłużyły analizie pozycji przyjmowanych podczas pracy przez ratowników. Uzyskane wyniki wykazały nieprawidłowe umiejscowienie fotela, które nie sprzyjało efektywnemu wykonywaniu procedur medycznych. Wniosek ten potwierdziło 74% ratowników; 94% uznało fotel za niewygodny; 77% uważało, że odległość między fotelem a noszami jest zbyt duża. Wymienione niedogodności znalazły odzwierciedlenie w wymuszonych i nienaturalnych pozycjach, jakie przyjmowali ratownicy medyczni w trakcie wykonywania procedur. W podsumowaniu stwierdzono niedostosowanie wnętrza ambulansu do ratowników medycznych oraz zaproponowano propozycje zmian. Do najważniejszych można zaliczyć: zmianę umiejscowienia szafki medycznej w celu zapewnienia łatwego dostępu, dodanie regulowanego składanego fotela naprzeciwko dwóch regulowanych foteli oraz dodanie obrotowej podstawy i urządzenia do podnoszenia pacjenta na noszach, co umożliwiłoby lepszą dostępność ratownika do pacjenta. Ostatnie z wymienionych zaleceń dotyczące noszy pojawiało się również w innych badaniach [4, 20], ponieważ brak regulowanych noszy zwiększa ryzyko wystąpienia dolegliwości mięśniowo-szkieletowych.

Z kolei w badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych [102] zaangażowało się wiele instytucji państwowych, odpowiedzialnych za bezpieczeństwo pracy w służbach medycznych, m.in. Departament Nauki i Technologii Bezpieczeństwa Wewnętrznego USA, Narodowy Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy, Narodowy Instytut Standardów i Technologii oraz firmy projektowe. Stwierdzono, że eksploatowane ambulansy są ergonomicznie nieefektywne i często niebezpieczne dla ratowników, szczególnie podczas realizacji procedur medycznych podczas jazdy. W konsekwencji czego liczba wypadków

kończących się śmiercią lub poważnymi obrażeniami na stanowisku pracy ratownika medycznego znacznie przewyższa tę wartość dla przeciętnego miejsca pracy w Stanach Zjednoczonych. Fakt ten stał się przesłanką opracowania nowych standardów dotyczących projektowania struktury przestrzennej karetki oraz wyposażenia przedziału pacjenta, stosowanie których ma zapewnić bezpieczeństwo personelowi medycznemu i pacjentom oraz ułatwić opiekę nad pacjentem. Działania te poprzedzono szczegółowymi badaniami, których zadaniem była ocena stanu aktualnego.

W efekcie powyższych badań nadzorowanych w Stanach Zjednoczonych [18] przez krajowe instytucje zajmujące się bezpieczeństwem, opracowano prototyp ambulansu, który w stosunku do swoich poprzedników zmodyfikowano pod kątem zabezpieczeń szafek, szuflad, bezpiecznych blokad dla ciężkiego sprzętu oraz elementów grożących urazem głowy ratownika. Zmieniono również ustawienie siedzeń, wprowadzając, m.in. siedzenia przesuwane oraz bliżej nich ustawiono panel regulacji natężenia oświetlenia, urządzeń służących do komunikacji i urządzeń kontrolnych stosowanego sprzętu, po to by zmniejszyć konieczność wstawania i wykonywania czynności w pozycji stojącej. Zaprojektowano również system ostrzegawczy wyzwalający się w trakcie gwałtownego hamowania tak, aby przygotować do odpowiedniej reakcji personel wykonujący medyczne czynności ratunkowe. Podkreślono również, że zmiana architektury wnętrza i sposobu mocowania wyposażenia medycznego w przedziale medycznym pojazdu powinna być jednocześnie skorelowana z wynikami badań crash-testów z udziałem ambulansów. Kolejnym krokiem zmierzającym do poprawy bezpieczeństwa pracy zespołów ratownictwa medycznego i ograniczania konieczności przyjmowania pozycji stojącej w karetce było wprowadzanie nowych rozwiązań sprzętowych [1818], np. mechanicznych urządzeń do ucisków klatki piersiowej, które dodatkowo mają lepszą efektywność działania w trakcie jazdy. Badania wykazały, że efektywność ucisków personelu w trakcie jazdy wynosi od 0 do 30%, natomiast mechaniczne urządzenie daje 88-100% skuteczności wg Guidelines ERC (European Resuscitation Council) i AHA (American Heart Association) [32].

W USA zostały również przeprowadzone inne badania przy wykorzystaniu arkusza ankiet dotyczące projektu ambulansu. Ankieta została przeprowadzona przez okres jednego miesiąca – od 29 listopada 2011 r. – 28 grudnia 2011 r. W sumie otrzymano 2537 odpowiedzi. W ankiecie znalazły się pytania oceniane w skali od 0 do 100, gdzie „0” oznacza „słabo” lub „zdecydowanie się nie zgadzam”, a „100” oznacza „świetnie” lub „zdecydowanie się zgadzam”. Wyniki wykazały, że dotychczasowe miejsce siedzenia dla ratownika w ambulansie nie sprzyja leczeniu pacjenta ani nie zapewnia wystarczającego dostępu do sprzętu/materiałów.

Na pytanie, czy lokalizacja i wysokość siedzeń karetki są odpowiednie z punktu widzenia zapewnienia dostępu względem pacjenta lub sprzętu/materiałów, oceny satysfakcji wyniosły odpowiednio 61 i 46. Respondenci podali również powody, dla których nie noszą pasów bezpieczeństwa. Zaliczyli do nich:

- złe nawyki,
- krótki czas transportu,
- irytacja związana z koniecznością ciągłego zapinania i rozpinania pasów, co określa się jako frustrujące i niewygodne,
- samoobrona w przypadku pacjentów agresywnych,
- ograniczona możliwość dostępu do pacjenta,
- ograniczona możliwość dotarcia do niezbędnego sprzętu medycznego.

Ocena satysfakcji dotycząca zdolności systemów przytrzymujących do umożliwienia ratownikom wykonywania ich pracy wynosi 28. Wynik ten pokazuje, że ratownicy są niezadowoleni z systemów zabezpieczających będących na wyposażeniu ambulansu. Z drugiej strony świadomość ryzyka związanego z pracą w jadącym ambulansie wynosi 77. Zatem ratownicy medyczni są świadomi niebezpieczeństwa, ale po prostu akceptują je jako nieodłączne zagrożenie pracy w ambulansie. Wyniki ankiety wykazały, że obecny układ wnętrza w niewielkim stopniu uwzględnia czynnik ludzki. Najczęściej używany sprzęt i przedmioty, takie jak butla tlenu i urządzenia ssące, są poza zasięgiem. Ratownicy na ogół mają trudności z dotarciem do elementów sterujących (tj. np. oświetleniem czy połączeniem z centralą). Respondenci rekomendują dodatkowy panel sterowania w pobliżu noszy, do którego miałyby swobodny dostęp pracownik najczęściej go obsługujący [102].

W Arabii Saudyjskiej w 2020 roku w okresie od marca do kwietnia przeprowadzono badanie za pośrednictwem ankiet internetowych, w którym wzięło udział 861 ratowników medycznych. Celem badania było określenie poziomu zadowolenia z eksploatowanych ambulansów i zidentyfikowanie możliwości ich poprawy. Ratownicy wskazali na problem zapewnienia własnego bezpieczeństwa, a także bezpieczeństwa pacjentów. 87% uczestników ankiety wykazało niezadowolenie z obecnych karetek. Podkreślili, że konstrukcja obecnych karetek jest niebezpieczna, a szczególnie tylna część kabiny. Stwierdzono, że w celu poprawy bezpieczeństwa ratowników należy m.in.: zainstalować w kabinie przesuwne krzesło, a także wyposażać ambulanse w nosze hydrauliczne w celu zmniejszenia urazów układu mięśniowo-szkieletowego [93].

Polscy ratownicy medyczni również zwrócili uwagę na kwestie wyposażenia karettek. Badania wykazały brak ich dostosowania do wymagań dotyczących (liczby) sprzętu medycznego, zwrócono również uwagę na małą ilość miejsca w ambulansie, co utrudnia swobodne poruszanie się [14].

Jednym ze skutków pracy, na które uskarżają się ratownicy medyczni, są dolegliwości mięśniowo-szkieletowe, które są efektem obciążeń fizycznych oraz przyjmowania niewłaściwych pozycji podczas wykonywania pracy. Wysoka częstość występowania problemów mięśniowo-szkieletowych jest powszechnie zgłaszana przez służby pogotowia ratunkowego na całym świecie [11, 19, 67, 86]. Ich źródłem jest przede wszystkim transport pacjentów: podnoszenie i przenoszenie z pozycji siedzącej lub leżącej, układanie w optymalnej pozycji, przekładanie na deskę ortopedyczną, wyjmowanie z samochodu [14], jak również transport sprzętu medycznego (monitor, defibrylator, torba reanimacyjna itp.). W wyniku tych prac, dochodzi do obciążenia układu kostno-stawowego, a zwłaszcza kręgosłupa [44, 70]. Najczęściej wymieniana dolegliwość to bóle związane z dolną częścią pleców, czyli odcinkiem lędźwiowo-krzyżowym kręgosłupa [70, 112, 111, 115], a następnie bóle w okolicach karku i szyi.

Zespoły bólowe kręgosłupa występują ponadto na skutek nadmiernego obciążenia statycznego, którego przyczyną są nieergonomiczne warunki pracy, w szczególności: niewłaściwa pozycja ciała podczas pracy (skręcona z pochylonymi i skręconymi plecami), zbyt duże tempo powtarzających się czynności, zaokrąglanie pleców podczas stania lub siedzenia, wykonywanie pracy z ramionami nadmiernie odwiedzionymi lub uniesionymi.

W roku 2013 Centralny Instytut Ochrony Pracy (CIOP) przeprowadził badania dotyczące zagrożeń w pracy ratowników medycznych. Uzyskane wyniki pokazały, że największy problem zdrowotny ratownicy upatrują w bólach kręgosłupa, głównie odcinka lędźwiowego (2/3 badanych wskazuje na ten typ dolegliwości), a później szyjnego i piersiowego (co drugi badany). Bóle kończyn dolnych są już nieco rzadsze (dotyczyły mniej więcej co 3 badanego), podobnie jak bóle kończyn górnych [111].

Kolejna analiza badań ankietowych wykonanych przez CIOP [14] wykazała, że największy odsetek badanych w grupie kobiet – ratowniczek medycznych odczuwał dolegliwości w obrębie dolnej części pleców (38%, 66%), a w dalszej kolejności w obrębie karku i szyi (28%, 53%) oraz górnej części pleców (22%, 44%). Podobne odczucia mieli ratownicy medyczni, a wyniki kształtowały się na poziomie odpowiednio: dolegliwości w obrębie dolnej części pleców (46%, 65%), a w dalszej kolejności w obrębie karku i szyi (25%, 45%) oraz górnej części pleców (22%, 37%). Należy jednak w tym miejscu zwrócić



uwagę, że ta niewygodna i nienaturalna pozycja jest nie tylko związana z transportem pacjentów, często występuje podczas wykonywania procedur medycznych w karetce.

Wyniki badań przeprowadzonych na grupie 120 ratowników medycznych, zatrudnionych w stacjach pogotowia ratunkowego na terenie Lubelszczyzny w Polsce w okresie od czerwca do września 2014 roku, wskazują ból pleców (11,7%), jako główną przyczynę zgłaszania się po poradę lekarza [63]. Wyniki innych badań ankietowych przeprowadzanych wśród 70 ratowników medycznych w wieku 24–56 lat, pracujących w trybie zmianowym na terenie Wielkopolski w Polsce, wskazują u wszystkich ankietowanych ratowników w ciągu 12 ostatnich miesięcy na występowanie zespołu bólu kręgosłupa. Najwięcej osób (62%) zadeklarowało, że bóle pojawiają się najwyżej kilka razy w miesiącu. U 17% respondentów dolegliwości pojawiały nie więcej niż raz w tygodniu, natomiast u 13% badanych kilka razy w tygodniu. Jedynie 8% cierpiało z powodu bólu kręgosłupa codziennie. 64% ratowników odczuwało ból zlokalizowany głównie w odcinku lędźwiowo-krzyżowym, następnie w szyjnym (20%) i w piersiowym (16%). Warto zaznaczyć, iż przed podjęciem pracy ratownika medycznego większość (94%) nie miała dolegliwości bólowych kręgosłupa. Ankietowani za główną przyczynę nasilania się dolegliwości bólowych kręgosłupa wskazali: dźwiganie (31%), utrzymywanie wymuszonej pozycji (23%), skłony tułowia w przód (16%), długotrwałe stanie (9%) i siedzenie (6%), podnoszenie ciężaru (7%), skręt tułowia (5%) lub jego przeprost (3%) [57].

W badaniach przeprowadzonych metodą sondażu diagnostycznego na terenie województwa zachodniopomorskiego na przełomie lat 2017 i 2018 wzięło udział 110 aktywnych zawodowo pracowników medycznych. Ból pleców zgłaszało 103 respondentów (94%), przy czym najczęściej wskazywano okolice lędźwiową (72,81%) [72].

Z kolei badanie przeprowadzone na grupie 201 posiadających uprawnienia do wykonywania zawodu ratownika medycznego w Polsce, wykazało, że wśród przebadanych ratowników medycznych 92% skarży się na obecność bólu pleców w różnych częściach kręgosłupa. Bóle kręgosłupa występują głównie w dolnej części pleców. Stwierdzono, że tak duża częstość występowania tych dolegliwości wynika z przyjmowanej nieprawidłowej pozycji ciała przy pracy oraz podnoszenia/przenoszenia ciężarów [13].

Problemy z dolegliwościami układu mięśniowo-szkieletowego wśród ratowników pojawiają się również w wynikach badań prowadzonych za granicą.

W Arabii Saudyjskiej badania przeprowadzono za pomocą kwestionariusza nordyckiego (Musculoskeletal Disorders Nordic Questionnaire – NMQ) i dokonano oceny bólu narządu ruchu wśród 360 ratowników medycznych. Stwierdzono u 60,3 % badanych bóle

okolicy dolnego odcinka kręgosłupa, następnie kolana (41,4%), szyi (40,3%), górnej części pleców (40%) oraz biodra/uda (10,3%) [2]. Również wyniki innych badań przeprowadzonych w Arabii Saudyjskiej wśród 740 pracowników służby zdrowia, w tym ratowników medycznych wskazują w większości na ból dolnego odcinka kręgosłupa (74 % badanych) [3].

Jedna ze szwedzkich badaczek U. Aasa [1] stwierdziła, że częstotliwość zwolnień lekarskich wynikających z dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego, w szczególności bólów górnej i dolnej części kręgosłupa była wyższa w kobiet niż u mężczyzn. Dodatkowo zwrócono uwagę na większą liczbę zwolnień lekarskich wśród ratowników medycznych w porównaniu z pielęgniarkami i pracownikami pomocy [24].

Warto zaznaczyć, że ratownicy podczas wykonywania obowiązków służbowych często podnoszą pacjentów, dźwigają sprzęt medyczny i nosze, co daje ciężar o masie przekraczającej 100 kg, a w przeliczeniu na jednego ratownika medycznego daje ciężar o masie powyżej 50 kg. Oznacza to, że przekraczane zostają normy dotyczące ręcznego przemieszczania ciężarów przez jednego pracownika, które wynikają z rozporządzenia w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy ręcznych pracach transportowych [101].

Choroby układu ruchu, mogą być wynikiem zarówno urazu powstałego wskutek jednorazowego przeciążenia albo kumulujących się mikrourazów.

Oprócz wyżej wymienionych zagrożeń, należy pamiętać o innych niebezpieczeństwach, jakimi są wypadki z udziałem karettek [26]. Jazda ambulansem pogotowia ratunkowego jako „pojazdem uprzywilejowanym” stanowi często zagrożenie w ruchu drogowym. Kolidacja z udziałem ambulansu ma miejsce zazwyczaj przez brawurowe i niedostateczne zachowanie ostrożności kierowcy – ratownika (np. nieodpowiednie zabezpieczenie miejsca wypadku), jak również nieprzestrzeganie przepisów Kodeksu drogowego przez innych użytkowników drogi. Powyższe zachowania są przyczyną zagrożenia zdrowia i życia wszystkich osób, zarówno personelu medycznego, jak i innych uczestników ruchu drogowego [65].

Można zaobserwować, że wypadki drogowe z udziałem Zespołów Ratownictwa Medycznego są coraz częściej spotykanym zjawiskiem i coraz częściej informacje dotyczące takich zdarzeń pojawiają się w środkach masowego przekazu. W Polsce, dane dotyczące wypadków z udziałem ambulansów niestety nie są gromadzone i analizowane statystycznie. Na stronie Komendy Głównej Policji znajdują się statystyki dotyczące wypadków drogowych, natomiast żadne z nich nie uwzględniają informacji odnośnie do liczby wypadków komunikacyjnych z udziałem ambulansu ani statystyk rannych i ofiar wśród personelu medycznego [18].

W badaniach przeprowadzonych w 2000 r. w USA wykazano, iż wypadki ambulansów z ofiarami śmiertelnymi wśród personelu medycznego występują o 27% częściej niż w przypadku działań policji i o 33% częściej niż w przypadku działań straży pożarnej [54]. Zagadnienie bezpieczeństwa pracy personelu ambulansów od jakiegoś czasu jest przedmiotem badań odpowiednich służb w USA i na ich podstawie sformułowano wnioski uznające środowisko pracy ambulansu medycznego za niezwykle niebezpieczne [18, 54].

Zgodnie z Art. 39 ust 1. Ustawy prawo o ruchu drogowym [105] uczestnicy ruchu drogowego zobowiązani są do zapinania pasów bezpieczeństwa podczas jazdy. Zatem również zespół ratownictwa medycznego ma obowiązek korzystania z pasów bezpieczeństwa, ale tylko wyłącznie w trakcie dojazdu na miejsce zdarzenia. Ust. 2. Pkt. 7 zwalnia z tego obowiązku członków zespołu medycznego w czasie udzielania pomocy. Obowiązek zapinania pasów zdjęty został z tej grupy zawodowej, ze względu na charakter pracy. Zapisy ustawy o Państwowym Ratownictwie Medycznym wskazują, że akcja prowadzenia medycznych czynności ratunkowych rozpoczyna się w momencie przybycia zespołu ratownictwa medycznego na miejsce zdarzenia. Z powyższego wynika, że członkowie zespołu ratownictwa medycznego w czasie dojazdu na miejsce zgłoszenia powinni mieć zapięte pasy bezpieczeństwa, co jednak rzadko ma miejsce ze względu na przygotowania sprzętu ratowniczego w trakcie jazdy do zdarzenia. To oczywiście niesie za sobą określone negatywne skutki, często kończące się urazami. Należy zaznaczyć, że ryzyko zgonu osób, które wypadły z pojazdu podczas wypadku, jest 25 - krotnie większe niż tych, którzy w nim pozostali. Wnioski dotyczące konieczności zapinania pasów nasuwają się same [55].

W tym zakresie dokonano analizy porównawczej zachowań ratowników medycznych fińskich i brytyjskich [4]. Wykazano w większym stopniu przestrzeganie przepisów przez ratowników fińskich (96 osób deklarowało zapinanie pasów, co stanowiło 75,6% badanych), natomiast tylko 15 osób, czyli 22,4% badanych ratowników angielskich zapinało pasy, niezależnie czy jechali do pacjenta czy z pacjentem.

Elementami uznanymi również jako zagrożenie, szczególnie w sytuacjach wypadkowych, jest techniczne wyposażenie wnętrza ambulansu [97], ze względu na brak w nim dodatkowych zabezpieczeń jak poduszki powietrzne czy obecność tylko słabo zabezpieczających pasów (tylko pas biodrowy). Ponadto, wyposażenie przedziału medycznego ambulansu stanowią niezabezpieczone i ciężkie elementy sprzętu medycznego pozbawione dodatkowych pasów mocujących lub słabo zabezpieczonych oraz ostre krawędzi różnych płaszczyzn, siedzeń skierowanych przodem do kierunku jazdy itp. Wśród przyczyn wypadków wymienia się również nieprawidłową organizację pracy [27], podkreślając jednocześnie,

że zwiększenie sprawności zespołu medycznego ma także wpływ na zmniejszenie liczby wypadków [26].

#### **2.4. Przesłanki podjęcia tematu**

Przedstawiona analiza problemu wykazała szereg zagrożeń, o różnym charakterze. O ile trudno jest wyeliminować stres, agresję pacjentów, nieco łatwiej ograniczyć oddziaływanie czynników chemicznych i biologicznych, o tyle zmiany w strukturze przestrzennej są możliwe i dlatego należy podejmować działania minimalizujące zagrożenia, których źródłem jest konstrukcja przedziału ambulansu. Zagrożenia te mogą przyczyniać się do obniżenia efektywności pracy ratowników medycznych i zwiększenia ryzyka dolegliwości mięśniowo-szkieletowych, jak również większego prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku w trakcie wykonywania procedur medycznych podczas transportowania poszkodowanych czy chorych do szpitala. Pomimo stosowania się do przepisów zawartych w Polskiej Normie PN-EN 1789:2021-02 [75] nadal problem ten, czyli uwzględnienie potrzeb i oczekiwań ratowników w odniesieniu do poziomu warunków pracy jeszcze na etapie projektowania pozostaje nierozwiązany. Zbyt ogólne zapisy nie uwzględniają konieczności stosowania reguł ergonomicznych w projektowaniu przedziałów medycznych w ambulansach. Nie istnieje obecnie żadna norma ani dokument, które określałyby rozmieszczenie wyposażenia w ambulansie tak, aby z jednej strony zapewnić łatwy dostęp do materiałów medycznych i urządzeń wykorzystywanych podczas wykonywania procedur medycznych podczas jazdy, a z drugiej uzyskać unifikację wnętrza przestrzeni medycznej w samochodach różnych marek, ale o podobnej kubaturze, wykorzystywanych jako ambulanse. Ten aspekt ma ogromne znaczenie dla szybkości i niezawodności wykonywania zadań przez ratownika medycznego. Kompleksowe rozwiązanie tego zagadnienia wymaga szczegółowej analizy obciążenia pracą ratowników, realizujących różne procedury medyczne zarówno na postoju jak i podczas jazdy ambulansu [7].

Co więcej, brak unifikacji w zakresie rozmieszczenia wyposażenia w karetce pogotowia jest czynnikiem stresującym dla ratowników medycznych. Różnorodność w rozmieszczeniu powoduje, że zapoznanie się z „nowym wnętrzem” jest bardzo czasochłonne, średnio zajmuje to ratownikom około 33 minut [8]. Unifikacja znacznie obniżyłaby dyskomfort w pracy ratownika medycznego oraz zmniejszyła stres związany z niepewnością co do rozmieszczenia wyposażenia a przede wszystkim skróciła czas, który ratownicy medyczni poświęcają na zapoznanie się z wyposażeniem wnętrza pojazdu. Kilka lat temu z podobnymi problemami borykali się ratownicy Lotniczego Pogotowia Ratunkowego. Dlatego zakup nowych

śmigłowców został poprzedzony badaniami ergonomicznymi, które doprowadziły na etapie projektowania, do optymalnego w ramach możliwości technicznych, rozmieszczenia sprzętu medycznego oraz niezbędnych materiałów medycznych w przedziale medycznym śmigłowca. Obecnie wszystkie śmigłowce ratunkowe są zunifikowane a skutkiem tego jest jednolite we wszystkich maszynach rozmieszczenie sprzętu medycznego co znacznie zmniejsza stres oraz skraca czas realizacji procedur medycznych. Należy zatem podjąć działania definiujące proces projektowania struktury przestrzennej ambulansów medycznych w celu poprawy warunków pracy ratowników.

Powyższe aspekty stanowiły przesłanki do sformułowania celu i zakresu rozprawy.

### 3. Cel, teza i zakres rozprawy

Celem naukowym niniejszej rozprawy jest **opracowanie kompleksowej metody oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika medycznego w ambulansie medycznym stosowanej na etapie badań jego prototypu, obejmującej metodykę identyfikacji pozycji roboczych ratownika oraz ocenę poziomu dyskomfortu pracy.** Konieczność stosowania metody na etapie badania prototypu zaprojektowanego wnętrza wynika z wykorzystania zaawansowanych technik pomiarowych i specjalistycznej aparatury, zazwyczaj niedostępnej w czasie stosowania tradycyjnych metod oceny poziomu ergonomicznego stanowisk pracy już w trakcie ich eksploatacji.

Przyjęto następującą tezę pracy:

**Zastosowanie zaawansowanych technik pomiarowych oraz metod heurystycznych w ocenie poziomu ergonomicznego przedziału medycznego ambulansu na etapie badań prototypu zminimalizuje występowanie uciążliwości na stanowisku pracy ratownika medycznego i poprawi komfort jego pracy.**

Poprawa warunków pracy w ambulansie może przyczynić się do:

- zwiększenia bezpieczeństwa i efektywności pracy ratowników medycznych w ambulansach,
- podniesienia jakości wykonywanych procedur medycznych przez ratowników medycznych w ambulansach, co wiąże się ze zwiększeniem skuteczności leczenia pacjentów oraz mniejszą liczbą zgonów,
- zmniejszenia dolegliwości mięśniowo-szkieletowych ratowników podczas pracy w ambulansach a także po zakończeniu aktywności zawodowej.

Tak sformułowany cel pracy wymagał realizacji następujących zadań:

- przeglądu literatury dotyczącej specyfiki pracy ratownika medycznego oraz uciążliwości występujących na stanowisku pracy ratownika medycznego,
- scharakteryzowania obiektu badań – ambulansu medycznego,
- sformułowania założeń kompleksowej metody oceny poziomu ergonomicznego,
- przeprowadzenia badań eksperymentalnych z wykorzystaniem zaawansowanych technik pomiarowych, mających na celu pozyskanie wiedzy do opracowania kompleksowej oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika medycznego,
- opracowania autorskiej metody oceny poziomu dyskomfortu w postaci modelu rozmytego,

- przeprowadzenia badań symulacyjnych,
- implementacji metody oceny w wybranym ambulansie,
- identyfikacji źródeł uciążliwości.

Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych oraz ich analiza pozwoliły zrealizować cel użyteczny, dotyczący określenia źródeł uciążliwości możliwych do usunięcia jeszcze na etapie badań prototypu w celu poprawy ergonomii struktury przestrzennej badanej karetki pogotowia ratunkowego, jak również mogą stać się podstawą sformułowania wytycznych skierowanych do producentów karetek.

## 4. Charakterystyka obiektu badań

Według definicji ambulans (fr. ambulance) to środek transportu dysponowany na miejsce nagłego zachorowania albo wypadku, przeznaczony do udzielania pomocy oraz przewozu chorych lub rannych z miejsca zdarzenia do szpitala, a często również służący do transportów medycznych i międzyszpitalnych. Ambulanse są obsługiwane przez specjalnie wyszkolone zespoły ratownicze i stanowią część systemu udzielania pomocy w nagłych wypadkach [81].

Zgodnie z Polską Normą PN-EN:1789:2021-02 „*Medyczne środki transportu i ich wyposażenie – Środki drogowego transportu medycznego*” [75] wyróżniamy trzy podstawowe typy ambulansów. Jest to oficjalna specyfikacja, która określa wymagania dotyczące konstrukcji, wyposażenia oraz innych szczegółowych podzespołów pojazdu, który może być nazywany ambulansem. Według specyfikacji wymieniamy poniższe typy karetek [75]:

- **Ambulans typu A** - skonstruowany i wyposażony do transportu pacjentów, których życie nie jest poważnie zagrożone i nie przewiduje się, że staną się pacjentami w stanie nagłego zagrożenia zdrowotnego. Istnieją dwa typy ambulansów A do transportu pacjentów: typ A1 i typ A2. Ambulans typu A1 jest odpowiedni do transportu jednego pacjenta, natomiast ambulans typu A2 do transportu jednego lub kilku pacjentów na noszach lub/i w fotelach.
- **Ambulans typu B** (ambulans ratunkowy) - skonstruowany i wyposażony do transportu pacjentów, których stan zdrowia wymaga tylko podstawowego leczenia i monitorowania.
- **Ambulans typu C** zwany „ruchomą jednostką intensywnej opieki” - ambulans, którego konstrukcja pozwala na transport pacjentów wymagających zaawansowanego leczenia i monitorowania

Oznaczenia ambulansów służą identyfikacji danego typu karetki. Aktualnie w polskim systemie ratownictwa medycznego zgodnie z ustawą o Państwowym Ratownictwie Medycznym wyróżniamy pięć podstawowych rodzajów ambulansów [47]:

- **Specjalistyczne (karetka S)** tzw. „eski” to dawna karetka R. Ambulans S to karetka reanimacyjna, która jest używana w stanach zagrożenia życia. Jej obsługę stanowi minimum trzyosobowy zespół, w którym przynajmniej jedna osoba to lekarz. Jeśli żaden z członków obsady nie posiada uprawnień do prowadzenia pojazdów uprzywilejowanych, czwartą osobą może być kierowca. W porównaniu do innych



typów ambulansów to właśnie wyposażenie karetki S jest najbardziej rozbudowane oraz wyekwipowane w najbardziej zaawansowaną aparaturę medyczną.

- **Podstawowe (karetka P)** posiadają obsadę składającą się z co najmniej dwóch ratowników lub pielęgniarek. Obecność lekarza w zespole ambulansu P nie jest wymagana – jeśli żaden z członków nie ma uprawnień do prowadzenia pojazdów uprzywilejowanych, trzecią osobą w zespole może być kierowca. Wyposażenie karetki P jest przystosowane do sytuacji takich jak wypadki, urazy i zachorowania, gdzie nie wymaga się udziału ambulansu S.
- **Transportowe (karetka T)** – to ambulanse używane do transportu poszkodowanych i chorych niewymagających intensywnego nadzoru, transportu międzyszpitalnego lub przewozu narządów bądź krwi. Najczęściej obsadę stanowi kierowca oraz ratownik. W systemie istnieje również karetka transportowa lekarska, w skład której wchodzi również lekarz. Ambulanse tego typu są wykorzystywane do przewozu chorych, którzy wymagają nadzoru lekarskiego.
- **Weterynaryjne** – ambulanse te mogą mieć status pojazdów uprzywilejowanych, lecz nie wszystkie go mają. Najczęściej występują w kolorze żółtym w czerwone paski, z tyłu natomiast są niebieskie.
- **Neonatologiczne – (karetka N)** ambulanse te używane są w sytuacjach podobnych do tych z użyciem karetek T, jednak przeznaczone są do transportu noworodków i niemowląt do 1 roku życia. Ambulans N jest wyposażony również w sprzęt reanimacyjny.

W polskim systemie funkcjonują również karetki POZ (podstawowa opieka zdrowotna) oraz NPL (nocna pomoc lekarska). Te ambulanse najczęściej wykorzystywane są do wizyt domowych lekarza rodzinnego u osób, które samodzielnie nie mogą się dostać do przychodni, a ich stan jest na tyle stabilny, iż nie zagraża ich życiu. Karetki NPL natomiast, jak wskazuje sama ich nazwa, pełnią dyżury w nocy w dni powszednie oraz całonocowo w święta i dni wolne od pracy.

Charakterystycznym rodzajem ambulansu jest również sanitarka wojskowa – karetka specjalistyczna najczęściej przystosowana do przewozu więcej niż jednej osoby w pozycji leżącej poprzez umieszczanie noszy piętrowo przy ścianach pojazdu [47].



Rys. 2. Wnętrze ambulansu [źródło własne]

#### 4.1. Wyposażenie sprzętowe ambulansu

Przewóz osoby chorej lub rannej odbywa się przy jednoczesnym zapewnieniu maksymalnej opieki medycznej podczas transportu pacjenta. Ambulans musi być wyposażony w sprzęt medyczny umożliwiający personelowi medycznemu udzielanie natychmiastowej pomocy włącznie z podtrzymywaniem życia pacjenta [79]. Rys. 2 przedstawia przykładowe wnętrze ambulansu.

Do podstawowego wyposażenia karetki, niezależnie od jej typu, prawie zawsze należą nosze – czasem obok tzw. noszy głównych w ambulansie są dodatkowe nosze podbierakowe, krzeselko kardiologiczne, deska ortopedyczna, kamizelka Kendricka i inny sprzęt transportowy. Ambulans jest wyposażony w zestaw leków ratujących życie, sprzęt medyczny, najczęściej w karetce jest też możliwość podania tlenu z butli. Karetki specjalistyczne są też wyposażone w respirator i defibrylator, zaś karetki przeznaczone do przewozu noworodków – w inkubator transportowy [81]. W niezbędny sprzęt medyczny i zabudowę medyczną (szafki i półki na drobny asortyment medyczny) wyposaża się przestrzeń medyczną ambulansu, która jest oddzielona od kabiny kierowcy. Najczęściej nie ingeruje się w zabudowę kabiny kierowcy bądź ingerencja ta jest umiarkowana.

Obecnie większość ambulansów drogowych będących na wyposażeniu szpitali i służb medycznych na świecie powstaje na bazie fabrycznych modeli największych światowych marek takich jak: Mercedes, Renault, Citroen Peugeot, Fiat, Ford, Iveco, i.in. Pojazdy

te produkowane są często przez firmy niezwiązane z producentem pojazdu bazowego. Firmy zewnętrzne, nienależące do koncernów samochodowych, budują ambulanse drogowe, wykorzystując nadwozia oraz podwozia i przystosowując je do pełnienia funkcji ambulansów drogowych [98].

Do głównych i najważniejszych elementów wyposażenia karetki pogotowia należą:

- urządzenia do transportu chorych, czyli:
  - nosze przystosowane do resuscytacji o składanych poręczach bocznych, z uchwytami transportowymi wraz z systemem szelkowych pasów dla dorosłych jak i dla dzieci,
  - transporter wielopoziomowy z możliwością regulacji wysokości, posiadający kółka oraz hamulce,
- laweta przesuwana, umożliwiająca dostęp do pacjenta z obu stron oraz ustawienie jednej z trzech pozycji.

Część wyposażenia umieszczona jest również w zewnętrznej przestrzeni bocznej karetki pogotowia, np.:

- krzeselko kardiologiczne,
- płachta o nośności min 150 kg o minimum 6 uchwytach,
- nosze podbierające,
- nosze typu deska.

Podczas jazdy pojazdu ratownik nie ma dostępu do tego wyposażenia.

Ambulanse medyczne muszą być wyposażone w sprzęt medyczny niezbędny do wykonywania procedur. Należą do niego, między innymi:

- zestaw do drożności dróg oddechowych, w tym worki samorozprężalne,
- zestaw do intubacji z laryngoskopem, rurkami, maskami, kleszczami,
- pulsoksymetr,
- respirator transportowy,
- butle tlenowe – przynajmniej trzy sztuki dwie o pojemności 1500l, jedna o pojemności 400 l.,
- zestaw do defibrylacji,
- zestaw do monitorowania pracy serca i kardiowersji,
- zestawy strzykawek,
- opaski zaciskowe,
- opatrunki – w tym schładzające, oparzeniowe, kompresy, chusty trójkątne, gazy wyjałowione, opaski elastyczne, taśmy hydroalergiczne,

- folie zabezpieczające przed utratą ciepła,
- folie operacyjne,
- koce,
- przedmioty zabezpieczające zakażeniom – tj. rękawice, okulary, środki do dezynfekcji, pojemnik na zużyte igły oraz worki jednorazowe.

Pełny zestaw sprzętu, środków medycznych i niezbędnych leków powinien być rozmieszczony w taki sposób we wnętrzu przedziału medycznego ambulansu, aby ratownik miał do nich łatwy i szybki dostęp a czynności wykonywane przez ratownika z ich wykorzystaniem nie wymuszały nienaturalnych pozycji ciała.

#### **4.2. Wymagania normatywne dotyczące struktury przestrzennej i wyposażenia ambulansu**

Ambulanse ratunkowe typu furgon lub kontener, muszą być skonstruowane w sposób umożliwiający prawidłową pracę zespołu ratunkowego. Spełnienie tego założenia wymaga spełnienia szeregu wymagań dotyczących przedziału medycznego, takich jak [75]:

wysokość przedziału medycznego nie mniejsza niż 175 cm,

- wysokość drzwi tylnych nie mniejsza niż 170 cm,
- drzwi tylne muszą być przeszklone,
- kabina kierowcy musi być oddzielona od przedziału medycznego,
- pojazd musi być wyposażony w szafki do przechowywania produktów leczniczych,
- pojazd musi posiadać uchwyty na torby z produktami leczniczymi,
- pojazd musi posiadać miejsce mocowania dodatkowych noszy, krzeselka kardiologicznego oraz materaca podciśnieniowego,
- w przedziale medycznym muszą znajdować się dwa fotele, których siedziska mają możliwość złożenia do pionu, wyposażone w pasy bezpieczeństwa,
- pojazd musi posiadać nosze główne, które wyposażone są w kółka umożliwiające transport,
- pojazd musi być wyposażony w miejsce mocowania defibrylatora,
- oświetlenie w przedziale medycznym pojazdu musi umożliwiać prawidłową pracę ratowników,
- w przedziale medycznym muszą znaleźć się również uchwyty do mocowania pojemników z płynami,

- w przedziale medycznym muszą znajdować się przynajmniej dwa gniazda elektryczne o napięciu 12V,
- wszelkie wyroby medyczne jak i wyposażenie ruchome musi posiadać miejsce, które zabezpiecza je przed przesunięciem podczas jazdy, jednak w taki sposób by nadal dostęp do nich nie był utrudniony,
- wszelkie elementy mocowania muszą zapewniać bezpieczeństwo personelu oraz pacjentów w przypadkach kolizji lub hamowania,
- pojazd musi posiadać drzwi boczne z prawej strony, które umożliwiają wygodne wsiadanie do pojazdu,
- pojazd musi posiadać drzwi boczne z prawej strony, które umożliwiają wygodne wsiadanie do pojazdu,
- pojazd musi być skonstruowany w taki sposób by zapewnić drogę ewentualnej ewakuacji personelu oraz pacjenta,
- długość przedziału medycznego nie mniejsza niż 200 cm,
- podłoga przedziału medycznego powinna być pokryta materiałem przeciwpoślizgowym, którym umożliwia łatwe zmywanie powierzchni,
- ściany boczne przedziału medycznego powinny być pokryte materiałem z tworzywa sztucznego, łatwo zmywalnym,
- przedział medyczny powinien posiadać izolację dźwiękowo-termiczną,
- przedział medyczny powinien posiadać okna zmatowione do 2/3 wysokości,
- fotele powinny być pokryte materiałem łatwo zmywalnym,
- wszelkie urządzenia służące do przenoszenia pacjenta powinny być zabezpieczone przed poruszaniem się w trakcie jazdy pojazdu,
- wszelkie urządzenia powinny być pozbawione ostrych kantów jak i innych wystających elementów,
- w przedziale medycznym powinny znajdować się systemy pasów bezpieczeństwa dla pacjentów, niezależnie od pozycji w jakiej są oni przewożeni,
- wszelkie pasy bezpieczeństwa powinny posiadać system łatwego i szybkiego rozpinania,
- wszelkie materiały, z których wykonane są leżaki i siedziska powinny być wykonane z materiału odpornego na wodę, bakterie, plamy,
- w przedziale medycznym zaleca się istnienie stacjonarnego systemu ogrzewania (chłodzenia),

- w przedziale medycznym oświetlenie zaleca się, aby miało przynajmniej 200 luksów, z możliwością obniżania,
- w przedziale medycznym zaleca się istnienie systemu bezpieczeństwa.

Analizując powyższe wymagania można stwierdzić, że część z nich jest raczej ogólna i nie daje konkretnego rozwiązania, jak np. „wyposażenie musi umożliwiać prawidłową pracę ratowników”. To powoduje, że można spotkać różne sposoby implementacji zaleceń w eksploatowanych karetkach, nie zawsze spełniające wytyczne prawne, jak również nie zawsze prowadzące do prawidłowych warunków pracy ratowników.

## 5. Założenia kompleksowej metody oceny poziomu ergonomicznego

Każdy obiekt techniczny (a dokładniej mówiąc system człowiek-maszyna, czyli podstawowy obiekt badań ergonomii) charakteryzuje się różnymi fazami istnienia. Zaczynając od fazy koncepcyjnej, poprzez fazę projektową, fazę wykonania i badania prototypu, fazę eksploatacji dochodzimy do fazy likwidacji obiektu. Każda z faz ma inny charakter. Bezpośredni kontakt projektanta z obiektem rozpoczyna się od fazy wykonania i badania prototypu. Na tym etapie jest jeszcze możliwość wprowadzania radykalnych zmian projektowych. W fazie eksploatacji istotne zmiany korekcyjne są ograniczone z powodów technicznych, ekonomicznych a także organizacyjnych. Efekty tych działań mogą być niewspółmiernie małe w porównaniu z nakładami finansowymi. Uzyskanie obiektu technicznego o wysokim poziomie ergonomicznym wymaga skupienia się na szczegółowych badaniach prototypu. W badaniach prototypu można stosować zaawansowane techniki i metody pomiarowe, co jest raczej niemożliwe przy okresowej ocenie ergonomicznej eksploatowanego obiektu. Tymi przesłankami kierowano się tworząc metodę kompleksowej oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika, czyli struktury przestrzennej ambulansu. W założeniach metody wzięto również pod uwagę specyfikę obiektu badań. Istnieje szereg typów karetek, budowanych na płytach głównych różnych marek pojazdów, co skutkuje różnymi parametrami struktury przestrzennej kabiny.

Opracowanie metody wymagało realizacji szeregu etapów, tzn.:

- doboru karetki jako obiektu badań i doboru procedur medycznych,
- identyfikacji pozycji roboczych ratownika na stanowisku pracy w ambulansie podczas wykonywania wybranych procedur w oparciu o:
  - badania ankietowe,
  - obserwacje,
  - pomiar napięcia mięśniowego metodą elektromiografii powierzchniowej,
  - pomiar kinematyki ruchu ciała ratownika metodą MyoMotion,
  - ocenę ryzyka zawodowego metodą REBA,
- analizy uzyskanych wyników i zdefiniowanie parametrów uwzględnianych w ocenie dyskomfortu pracy,
- opracowania modelu oceny poziomu dyskomfortu, wykorzystując metody heurystyczne, a dokładniej zbiory rozmyte, obejmującego:
  - określenie kryteriów oceny parametrów wejściowych modelu,

- budowę rozmytych submodeli i modelu zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu,
- implementację numeryczną modelu,
- analizę wyników badań symulacyjnych,
- implementacji metody oceny w wybranych ambulansie.

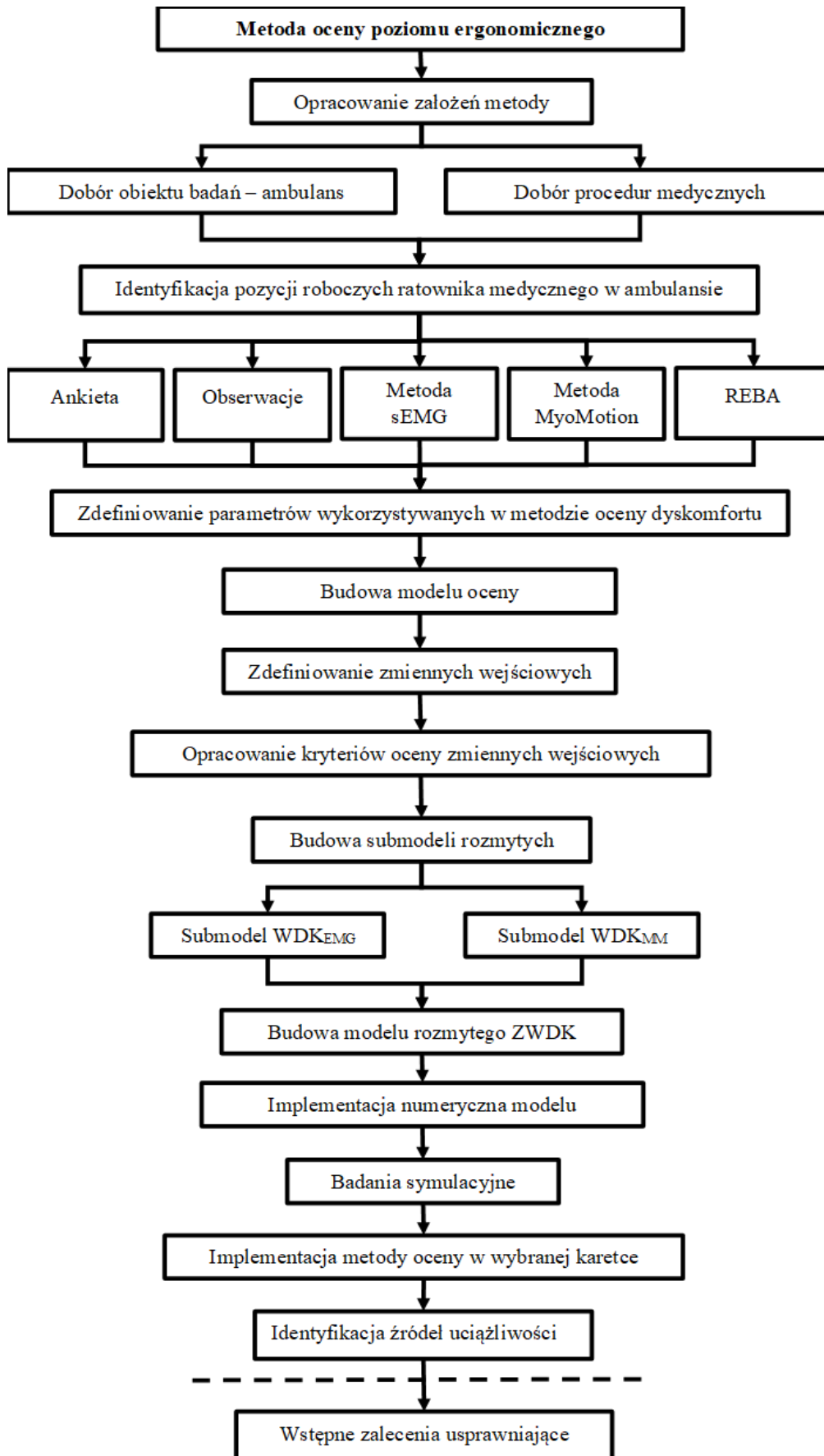
Powyższe działania dały podstawę do zdefiniowania źródeł uciążliwości występujących na stanowisku pracy ratownika medycznego.

Należy podkreślić, że w Polsce eksploatowane są ambulanse na bazie różnych podwozi pojazdów. Opracowaną metodykę oceny poziomu ergonomicznego struktury przestrzennej kabiny ambulansu można zastosować w różnych „typoszeregach” karetek. Pojęcie to obejmuje karetki posiadające zbliżoną kubaturę kabiny i to samo przeznaczenie, czyli należą do jednego z rodzajów: S, P, T, N. Każdy rodzaj ambulansu ma swoją specyfikę (różny zakres prowadzonych czynności medycznych i związanych z nimi wyposażenia) i różne wymiary przedziału medycznego, istnieje zatem konieczność wstępnej identyfikacji pozycji roboczych ratowników. Jej efekty mogą również wymagać modyfikacji modelu lingwistycznego.

Rys. 3 przedstawia kolejne etapy budowy metody oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika, przy czym:

- $WDK_{EMG}$  – oznacza wskaźnik dyskomfortu wynikający z napięcia mięśniowego (mierzonego metodą sEMG),
- $WDK_{MM}$  – oznacza wskaźnik dyskomfortu wynikający z przekroczenia zakresów kątowych w stawach przyjętych za „normalne” (mierzonych za pomocą systemu MyoMotion),
- $ZWDK$  – zintegrowany wskaźnik dyskomfortu.





Rys. 3. Etapy budowy metody oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika [opracowanie własne]

## 6. Badania eksperymentalne – pozyskanie wiedzy do budowy kompleksowej oceny poziomu ergonomicznego

### 6.1. Dobór karetki jako obiektu badań i procedur medycznych

Badania zostały wykonane we współpracy z Samodzielnym Publicznym Zakładem Opieki Zdrowotnej RM Meditrans w Siedlcach. Pomiarów dokonano w ambulansie marki Mercedes. Warto podkreślić, że wybór marki pojazdu w tym przypadku nie był przypadkowy. Ambulanse różnych marek mają różne wymiary przestrzeni roboczej. Na podstawie wywiadów z ratownikami stwierdzono, że w tej marce przestrzeń robocza w ambulansie jest większa niż w innych pojazdach. Ponadto, najpopularniejsze w użyciu jako karetki w Polsce są właśnie furgony takie jak Mercedes Sprinter [42]. Zatem do badań został wykorzystany ambulans marki Mercedes z wyżej wymienionego Zakładu Ratownictwa Medycznego i dla tego typu ambulansu opracowano metodę oceny poziomu ergonomicznego. Dostępność ambulansu uzależniona była od natężenia przyjmowanych zgłoszeń wymagających interwencji medycznej, ponieważ ratownicy medyczni oddelegowani do badań byli w trakcie służby, co wiązało się oczywiście z ich ewentualną gotowością w razie konieczności do udziału w akcji ratowniczej. W badaniach uczestniczyło dwóch doświadczonych ratowników medycznych. Jeden z nich kierował pojazdem, natomiast zadaniem drugiego ratownika było wykonywanie wybranych procedur medycznych zarówno podczas postoju, jak i podczas jazdy karetki. Procedury medyczne wykonywane były na symulatorze medycznym pełniącym rolę pacjenta, tak aby były całkowicie zgodne z tymi wykonywanymi w warunkach rzeczywistych.



Rys. 4. Stanowisko testowe – wnętrze karetki pogotowia z pełnym wyposażeniem medycznym i symulatorem medycznym na noszach [źródło własne]

Stanowisko badawcze zostało przedstawione na rys. 4.

Ratownik wykonał 17 następujących procedur medycznych: unieruchomienie kończyny dolnej, unieruchomienie kończyny górnej, termoizolacja, zabezpieczanie drożności dróg oddechowych, dostęp naczyniowy, farmakoterapia dożylna, monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (EKG), resuscytacja manualna, Lucas, tlenoterapia, wentylacja, tamowanie krwotoku uda, tamowanie krwotoku brzucha, tamowanie krwotoku uda, badanie urazowe, badanie neurologiczne, osłuchiwanie pacjenta, zmiana pozycji. Czas trwania poszczególnych procedur wahał się od 2 do 5 minut.

W pracy przedstawiono szczegółowe analizy dla 5 procedur medycznych:

1. unieruchomienie kończyny dolnej,
2. monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (EKG),
3. farmakoterapia dożylna,
4. tlenoterapia,
5. dostęp naczyniowy.

Wybór procedur wynikał z analizy raportu interwencji Samodzielnego Publicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej RM Meditrans w Siedlcach za rok 2022, w którym powyższe procedury były najczęściej wykonywane przez ratowników medycznych [85].

## **6.2. Identyfikacja pozycji roboczych ratownika medycznego w ambulansie**

Wymuszona pozycja robocza podczas pracy może w dłuższym okresie czasu skutkować odczuwanymi przez pracownika dolegliwościami układu mięśniowo-szkieletowego. Identyfikacji pozycji roboczych jakie przyjmuje ratownik w trakcie pracy dokonano wykorzystując szereg metod stosowanych w ergonomii. Mają one charakter zarówno badań subiektywnych jak i obiektywnych, umożliwiających opis stanu w sposób sparametryzowany jak również jakościowy.

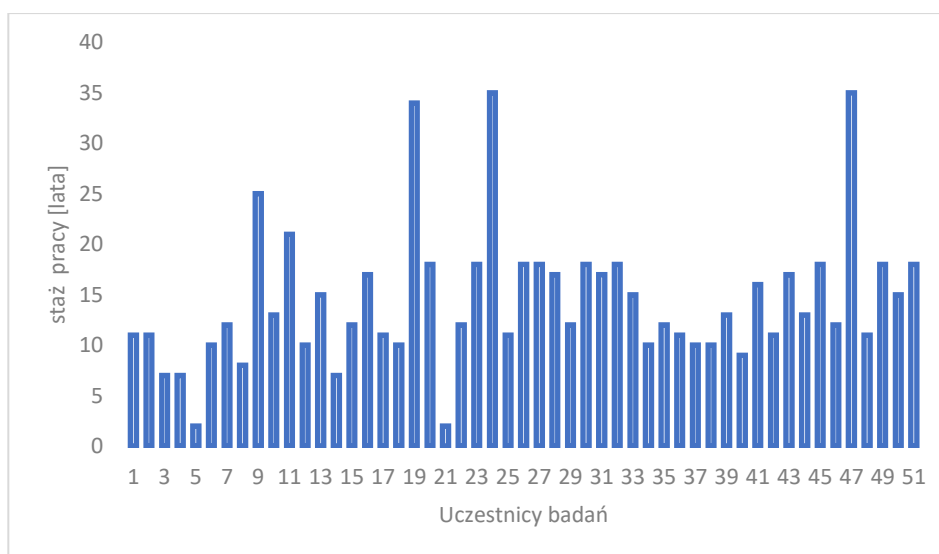
### **6.2.1. Badania ankietowe**

Badania ankietowe zostały wykonane w ramach prac badawczych Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej [8].

Formularz badawczy (załącznik 1), który został przekazany respondentom składał się z 18 pytań o charakterze zarówno zamkniętym, jak i otwartym oraz dotyczył obszarów związanych z opiniami pracowników na temat: wyposażenia pojazdu, niedogodności wynikających z pracy w ambulansie, propozycji i uwag dotyczących wykonywanych procedur oraz wyposażenia pojazdu.

### 6.2.1.1. Procedura przebiegu badań

Badania ankietowe przeprowadzone zostały na 51 losowo wybranych pracownikach Zespołu Ratownictwa Medycznego RM Meditrans w Siedlcach. Miały one charakter pilotażowy. Badania były wykonane od stycznia do lutego 2018 r. Ankietowani mieli różny staż pracy, od 2 do 35 lat, a zatem średni staż pracy wynosił 14,3 lat. Wśród respondentów były zarówno kobiety i mężczyźni. Grupa kobiet liczyła 5 osób co stanowiło 9,8 % wszystkich badanych. Grupa mężczyzn liczyła 46 osób, czyli 91,2 %. Rozkład stażu pracy pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Rozkład stażu pracy wśród uczestników badań

Wszyscy ratownicy medyczni, którzy uczestniczyli w badaniach ankietowych pracowali w zespołach wyjazdowych ratownictwa medycznego. 29 badanych ratowników medycznych pracuje na co dzień w karetce typu P, 8 ratowników medycznych w karetce typu S, a 11 ratowników medycznych pracuje na zmianę w karetce typu S i P. Badania były anonimowe a na ich przeprowadzenie uzyskano zgodę Dyrektora Pogotowia Ratunkowego w Siedlcach. Uzyskane wyniki zakodowano w programie MS Excel 2010 i opracowano statystycznie z zastosowaniem programu Statistica v. 8.

### 6.2.1.2. Wyniki badań ankietowych

Uzyskane wyniki wykazały wiele nieprawidłowości występujących w ambulansach. Poniżej przedstawiono wybrane zagadnienia ściśle związane z warunkami pracy ratowników.

W obszarze badawczym dotyczącym niedogodności wynikających z pracy w ambulansie, respondenci główną uwagę zwrócili na konieczność przyjmowania pozycji

stojącej podczas wykonywania procedur medycznych, a tym samym na brak zabezpieczenia przed upadkiem podczas jazdy.

Analiza otrzymanych odpowiedzi wykazała, że 36 ratowników medycznych spośród 51 wykonuje procedury medyczne w pozycji stojącej, zaledwie 9 ratowników medycznych pracuje w pozycji siedzącej.



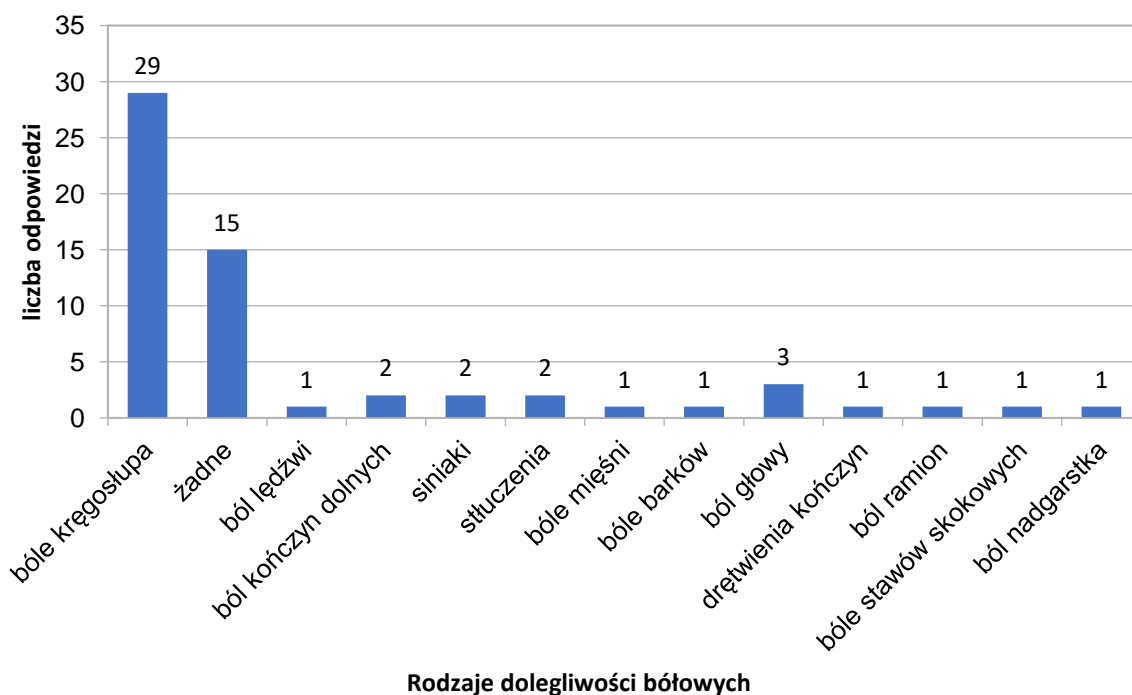
Rys. 6. Pozycja przyjmowana przez ratowników podczas wykonywania procedur medycznych podczas jazdy karetki

24 ratowników stwierdziło, że pozycja siedząca nie jest wygodna do wykonywania procedur medycznych. Jako powody wskazano ograniczony dostęp do pacjenta – 8 odpowiedzi, utrudnione wykonywanie procedur i pomiarów – 5 odpowiedzi, brak możliwości wykonywania procedur medycznych – 2 odpowiedzi, brak możliwości użycia sprzętu, brak dostępu do szafek, zmniejszony zasięg rąk, brak możliwości właściwej oceny stanu pacjenta – po 1 odpowiedzi.

Wykonywanie procedur medycznych w pozycji stojącej stanowi duże zagrożenie dla zdrowia i życia ratownika, gdy są one realizowane podczas jazdy ambulansu. W niektórych ambulansach ratunkowych istnieją zabezpieczenia przed upadkiem np. w formie siatki ochronnej, jednak takie rozwiązanie nie jest obligatoryjne. Wyposażenie ambulansu w zabezpieczenia wykazało w odpowiedziach 24 ratowników medycznych, natomiast 26 stwierdziło ich brak. Z 24 osób 18 wymieniło siatkę ochronną, która jest zamontowana obok fotela bocznego. 4 ratowników medycznych wskazało jako zabezpieczenie przed upadkiem przytrzymywanie się poręczy znajdującej się na suficie, a 3 ratowników jako zabezpieczenie wskazało szerokie rozstawienie nóg. Dodatkowo członkowie załóg ambulansów zwrócili uwagę na to, że istniejąca siatka ochronna oraz poręcz nie zapewniają żadnego wsparcia dla ratownika stojącego przy głowie pacjenta. Stwierdzono również utrudnienia w wykonywaniu niektórych procedur medycznych, wynikające z obecności zabezpieczenia przed upadkiem w przypadku jego zastosowania.

Niewygodna, wymuszona pozycja ciała podczas wykonywania pracy na stojąco lub siedząco, np. z kończynami górnymi powyżej poziomu barków i jej długotrwałe utrzymywanie może być przyczyną wielu urazów i dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego.

Badani (29 osób) wskazali na ból kręgosłupa towarzyszący im w czasie pracy. Zgłaszali również bóle stawów skokowych, bóle nadgarstka, siniaki, stłuczenia, drętwienia kończyn, bóle mięśni, ramion, barków, lędźwi, kończyn dolnych. 15 ratowników medycznych nie stwierdziło u siebie żadnych dolegliwości bólowych.

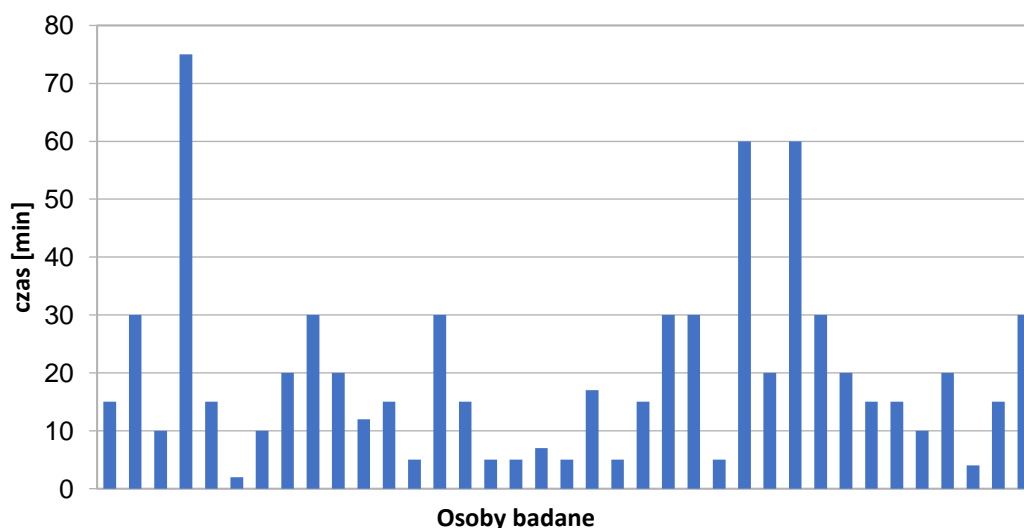


Rys. 7. Rodzaje dolegliwości bólowych występujących u ankietowanych ratowników

Badane osoby, zostały zapytane także o subiektywne odczucia związane z wyposażeniem ambulansów. Na pytanie: Czy w każdej pozycji niezbędne wyposażenie medyczne jest dla Pani/Pana dostępne? Jeśli nie, to proszę wymienić jakie? Ponad połowa respondentów 53,5% odpowiedziała, że niezależnie od przyjmowanej pozycji nie każdy element wyposażenia jest dostępny. Najczęściej zwracano uwagę, że w pozycji stojącej nie ma problemu z dostępnością wyposażenia, natomiast w pozycji siedzącej dostęp jest ograniczony, co może mieć znaczenie, jeśli w trakcie jazdy stan pacjenta będzie tego wymagał.

Podczas analizy wyników badań, zauważono, że istnieje nie tylko problem związany z dostępnością wyposażenia, ale z jego rozmieszczeniem w różnych typach pojazdów. Różnorodność rozwiązań struktury wewnętrznej ambulansów powoduje utrudnienia w pracy. Aż 18 spośród 51 badanych ratowników medycznych odczuwa dyskomfort lub niedogodności podczas pełnienia dyżuru w innej niż zazwyczaj karetce. W przypadku zmiany przydziału ambulansu ratownicy muszą na początku dyżuru zapoznać się z rozmieszczeniem poszczególnych elementów wyposażenia (sprzętu, materiałów medycznych, leków). Jest to

bardzo uciążliwe i czasochłonne. Ratownicy medyczni zwrócili również uwagę na fakt, że wstępne zaznajomienie się z nowym miejscem pracy nie jest jednoznaczne z zapamiętaniem lokalizacji poszczególnych elementów. Podczas pracy, ze względu na konieczność sprawnej i szybkiej realizacji procedur, często dominują wypracowane wcześniej automatyzmy, które nie sprawdzają się w innej strukturze przestrzennej co powoduje wydłużenie czasu wykonywania czynności.



Rys. 8. Czas zapoznania się z rozmieszczeniem wyposażenia we wnętrzu karetki

W ankiecie zamieszczono także pytania dotyczące propozycji modyfikacji struktury przestrzennej w pojazdach. Odpowiedzi były bardzo szczegółowe i obszerne, głównie zwrócono uwagę na kilka obszarów. Do najważniejszego zaliczono: unifikację wyposażenia i zabudowy, obligatoryjne wprowadzenie zabezpieczeń przed upadkiem podczas pracy ratownika medycznego w pozycji stojącej w czasie jazdy karetki, zwiększenie przestrzeni w ambulansach z możliwością dojścia do pacjenta z obu stron, innej budowy szafek - uzupełnionej o opisy, przegródki i podświetlenie wnętrza. Z badań wynika, że szczególnie istotny jest problem unifikacji wyposażenia. Powinna ona obowiązywać w ambulansach typu P oraz S.

### 6.2.2. Obserwacje

Obserwacja jest jakościową metodą gromadzenia danych. Celem zastosowania metody obserwacji było uzyskanie informacji o zachowaniu ratownika medycznego podczas wykonywanej pracy w ambulansie, a przede wszystkim wykrycie pewnych nieprawidłowości w budowie ambulansu na podstawie przyjmowanych pozycji ciała ratownika.

### **6.2.2.1. Procedura przebiegu badań**

Metodą obserwacji bezpośredniej monitorowano pracę ratownika medycznego podczas wykonywania wybranych procedur medycznych w ambulansie. Poniżej zostały przedstawione wyniki badań obserwacji 5 procedur medycznych, których czas trwania wynosił następująco: unieruchomienie kończyny dolnej 3 minuty 50 sekund, monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (EKG) 3 minuty 25 sekund, farmakoterapia dożylna 4 minuty 50 sekund, tlenoterapia 1 minuta 30 sekund, dostęp naczyniowy 2 minuty 20 sekund.

Przy użyciu tej metody badawczej zaobserwowano charakterystyczne zachowania ratownika oraz przyjmowane pozycje podczas pracy. Do rejestracji czynności ratownika została wykorzystana kamera. Przed przystąpieniem do badań przygotowano plan obserwacji, dokonano wyboru procedur medycznych, przygotowano narzędzia do rejestracji, a następnie dokonano rejestracji. Analizę danych wykonano na podstawie materiału filmowego.

Obserwator (doktorantka) za zgodą ratownika, znajdował się w kabinie ambulansu w miejscu, które nie przeszkadzało w wykonywaniu procedur medycznych.

### **6.2.2.2. Analiza uzyskanych wyników**

Wszystkie procedury medyczne wykonywane przez ratownika wymagały wymuszonej pozycji stojącej, która podczas pracy w poruszającym się ambulansie niewątpliwie należy do niebezpiecznych. Pozycja stojąca wymaga odpięcia pasów bezpieczeństwa. Poniżej wnioski z obserwacji poszczególnych procedur.

#### Unieruchamianie kończyny dolnej:

- Wyjęcie z szafki materiałów do wykonania procedury tj. szyn Kramera [45].  
(Szafka umieszczona jest na ścianie ambulansu od strony noszy pacjenta i na ich wysokości, co dodatkowo utrudnia do niej dostęp. Wymagało to przyjęcia przez ratownika pozycji mocno skręconej i jednocześnie pochylonej nad pacjentem. Dodatkowe wspięcie na palcach ułatwiło chwycenie szyny).
- Wyjęcie szyny Kramera z opakowania i odłożenie go na półce znajdującej się również na ścianie ambulansu od strony noszy pacjenta, na wyższej wysokości niż nosze.  
(Odłożenie opakowania na wskazaną półkę wymagało od ratownika ponownie przyjęcia postawy mocno pochylonej).
- Umieszczenie szyny Kramera pod złamaną nogą pacjenta, tak aby unieruchomić kończynę.  
(Pozycja ratownika ponownie wymuszona i nienaturalna).



- Wyjęcie bandażu z szuflady w szafce znajdującej się na ścianie ambulansu oddzielającej miejsce pracy ratownika medycznego od miejsca pracy kierowcy.  
(Mimo swobodnego dostępu do szuflady wyjęcie materiałów tj. bandażu wymagało również pochylecia i skręcenia tułowia. Podobnie jak w przypadku rozpakowania szyn, tak i w tym, opakowania z bandażu zostały odłożone na tę samą półkę znajdującą się na ścianie ambulansu za noszami pacjenta).
- Bandażowanie kończyny dolnej, która była ustabilizowana poprzez szynę Kramera.  
(Czynność wymagała unoszenia kończyny w trakcie bandażowania i również przyjęcia pozycji mocno pochylonej, momentami niestabilnej).

#### Monitorowanie podstawowych funkcji życiowych wraz z elektrokardiografią (EKG):

(Ratownik wykonywał tę procedurę w pozycji stojącej, również mocno pochylonej nad pacjentem. Podczas wykonywania procedury w trakcie jazdy ambulansu ratownik przyjmował postawę w rozkroku, co umożliwiało mu większą stabilizację. W niektórych momentach, podpierał się również dolną częścią pleców o złożone krzesło, które znajdowało się na przeciwległej ścianie ambulansu niż nosze pacjenta. Badanie przeprowadzone zostało przy pomocy aparatu EKG, który znajduje się na ścianie ambulansu za noszami pacjenta, w połowie wysokości ściany).

- Włączenie sprzętu i wyjęcie elektrod i kabli z pokrowca, w którym znajdowała się aparatura EKG.  
(Podczas tej czynności przyjmował pozycję mocno pochyloną, używał do wyjęcia wskazanych materiałów jednej ręki, natomiast drugą ręką trzymał się uchwyty znajdujące się na podsufitce ambulansu. Elektrody oraz kable położył na nogach pacjenta, z tego względu, że wokół nie było żadnego stabilnego stolika/tacy, na której mógłby taki sprzęt położyć).
- Połączenie elektrod z kablami i umieszczenie ich na klatce piersiowej pacjenta.  
(Każda elektroda ma dokładnie określone miejsce na powierzchni ciała pacjenta, dlatego ratownik medyczny przyjmując mocno pochyloną, skręconą postawę tułowia, naklejał poszczególne elektrody).
- Wybranie odpowiednich ustawień na dotykowym ekranie aparatury EKG.  
(Ratownik cały czas utrzymywał pozycję pochyloną).

#### "Farmakoterapia", czyli podawanie leków drogą dożylną:

(Procedura wykonywana była przez ratownika medycznego w dwóch pozycjach stojącej i siedzącej).

- Wyjęcie lekarstw z szafki umieszczonej na ścianie ambulansu oddzielającej miejsce pracy ratownika medycznego od miejsca pracy kierowcy.  
(Ratownik przyjął pozycję stojącą z pochylonym tułowiem).
- Przygotowanie leków na półce szafki, która służyła jako taca.  
(Pozycja się nie zmieniła).
- Wyjęcie strzykawek z szafki na ścianie przed noszami pacjenta.  
(Pozycja pochylona ze skręconym tułowiem).
- Napełnienie strzykawki lekarstwem, korzystając ze wspomnianej wcześniej szafki, która służyła jako taca.
- Podanie lekarstwa pacjentowi  
(Pozycja siedząca - ratownik korzystał z siedziska umieszczonego obok noszy, na przeciwległej ścianie. Podczas wykonywania tej czynności, ułożenie nóg ratownika było równoległe do noszy, zwrócone ku przodowi ambulansu – tułów skręcony).
- Wyjęcie kroplówki z dolnej szafki znajdującej się przy drzwiach wejściowych bocznych do ambulansu.  
(Pozycja mocno pochylona).
- Wyjęcie urządzenia do przetaczania płynów infuzyjnych, znajdującego się w górnej szafce po przeciwnej stronie noszy.  
(Pozycja stojąca, uniesienie rąk do góry).
- Przygotowanie kroplówki do podłączenia, wykorzystując jednocześnie szafkę za noszami pacjenta do odkładania opakowań po wyciągniętych materiałach.  
(Pozycja stojąca z pochylonym tułowiem).
- Podłączenie do pacjenta tzw. kroplówki, którą zawiesił na specjalnym uchwycie umieszczonym na podsufitce ambulansu.  
(Pozycja stojąca, pochylona, podczas zawieszania kroplówki - pozycja stojąca z rękami uniesionymi do góry).

#### Tlenoterapia:

- Wyjęcie z górnych szafek znajdujących się nad noszami pacjenta niezbędne materiały do wykonania procedury tj. rurkę oraz maskę.  
(Pozycja stojąca, kończyny górne uniesione).
- Przygotowanie maskę do nałożenia pacjentowi.  
(Wykorzystanie półki znajdującej się na ścianie ambulansu za noszami pacjenta, jako tacy).

- Podłączenie rurkę do butli z tlenem, która znajduje się przed noszami pacjenta. (Pozycja stojąca z pochylonym tułowiem).
- Zmiana ustawienia noszy pacjenta z leżących na siedzące. (Pozycja ciała pochylona – wydatkowanie siły).
- Nałożenie maski na twarz pacjenta.

#### Dostęp naczyniowy:

(Wykonywana była w pozycji stojącej).

- Zdjęcie opaski uciskowej z uchwytu na podsufitce. (Pozycja stojąca – przytrzymanie się jedną ręką uchwytu na podsufitce a drugą zdejmowanie opaski uciskowej).
- Wyjęcie niezbędnych materiałów do wykonania procedury (z dolnej szafki znajdującej się na ścianie ambulansu oddzielającej miejsce pracy ratownika pracy kierowcy). (Pozycja mocno pochylona).
- Założenie opaski uciskowej na rękę pacjenta oraz zdezynfekowanie miejsca wkłucia. (Pozycja kuczna przy noszach pacjenta, czasowo wyciągnięta lewa kończyna górna. W tej pozycji, wykorzystując jednocześnie materiały wcześniej wyjęte z szafek, które odłożył na półkę znajdującą się za noszami pacjenta, ratownik wykonał wkłucia wenflonu).

### **6.2.3. Pomiary napięcia wybranych mięśni metodą elektromiografii powierzchniowej podczas wykonywania wybranych procedur medycznych**

Elektromiografia (EMG) jest nieinwazyjną metodą oceny obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego, polegającą na rejestracji czynności elektrycznej mięśni [6, 48]. Zjawiska elektryczne zachodzące w mięśniach, w tym związane np. ze wzrostem lub spadkiem napięcia mięśniowego, mogą być rejestrowane za pomocą przyrządu pomiarowego nazywanego aparatem EMG lub elektromiografem [60]. Sygnał elektromiograficzny wyraża więc czynność elektryczną mięśnia związaną z jego skurczem i generowaniem siły [58, 99].

Sygnał EMG ma charakter stochastyczny i zawarty jest w paśmie częstotliwości około 5-1000 Hz, jednakże przyjmuje się, że górna wartość graniczna wynosi 450 Hz. Kolejnym parametrem charakteryzującym sygnał EMG jest jego amplituda, która zawiera się w granicach od kilku mikrowoltów w stanie spoczynku do kilkudziesięciu miliwoltów podczas maksymalnego napięcia mięśniowego. Częstotliwość i amplituda rejestrowanego sygnału EMG zależą od rodzaju włókien mięśniowych, częstości skurczów oraz rozwijanej siły [87].

W przeprowadzonym badaniu została wykorzystana elektromiografia powierzchniowa. Sygnał elektromiograficzny z mięśnia odprowadzony za pomocą elektrod powierzchniowych zbiera sygnał elektryczny z powierzchni skóry na zasadzie przewodzenia prądu przez płyny ustrojowe [87]. Potencjał elektryczny, który występuje na styku tkanka-elektroda pomiarowa jest uzależniony m.in. od właściwości elektrycznych poszczególnych warstw tkanek znajdujących się między mięśniem a elektrodą. Jest to jeden z czynników wpływających na otrzymywany sygnał EMG. Innym równie ważnym czynnikiem, który wpływa na jakość otrzymywanego sygnału jest lokalizacja elektrod powierzchniowych. Niewłaściwe umiejscowienie może spowodować rejestrowanie aktywności nie tylko badanego mięśnia, ale także sąsiadujących z nim jednostek motorycznych należących do innych włókien mięśniowych. Jest to zjawisko niepożądane, ponieważ utrudnia późniejszą analizę zarejestrowanego sygnału [61].

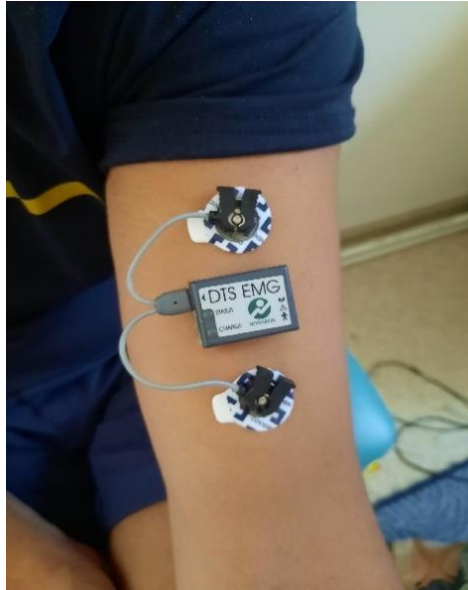
Ponadto EMG to metoda pośrednia, bardzo zależna od indywidualnych cech osoby badanej, charakteryzująca się stosunkowo dużą niepewnością pomiaru. Mimo tych niedogodności elektromiografia jest coraz powszechniej stosowanym narzędziem w badaniach ergonomicznych i biomechanicznych do oceny aktywności mięśniowej, w tym postularnej [92]. Poniżej została przedstawiona procedura badawcza oraz uzyskane wyniki pomiarów.

#### **6.2.3.1. Procedura przebiegu badań**

Badania przeprowadzono zgodnie z poniższą procedurą:

- przygotowanie uczestnika do badań (przed umieszczeniem czujników, skórę osoby badanej odpowiednio oczyszczono i usunięto owłosienie),
- zamocowanie elektrod do pomiaru elektrycznej aktywności mięśni (EMG),
- pomiar maksymalnej siły mięśniowej dla badanych mięśni, określenie wartości maksymalnego napięcia mięśniowego (MVC – Maximum Voluntary Contraction),
- pomiary dla poszczególnych procedur medycznych,
- zdjęcie elektrod i zakończenie badania.

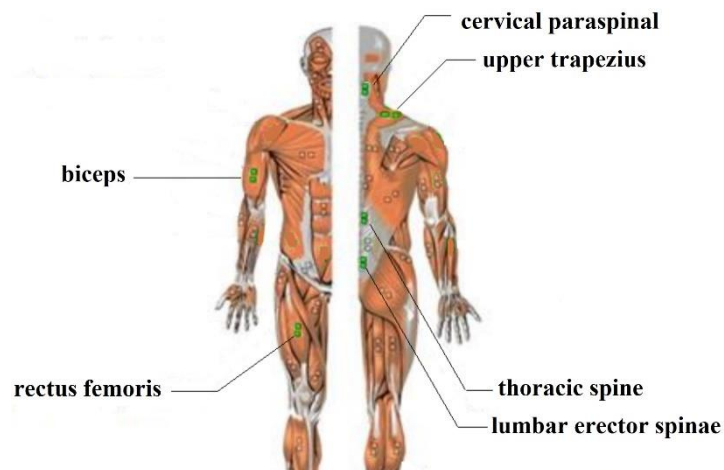
Rozmieszczanie elektrod i czujników pomiarowych na skórze zostało przeprowadzone zgodnie z wytycznymi zawartymi w programie SENIAM (ang. Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles). Przykładowe umieszczenie elektrod powierzchniowych nad badanym mięśniem zostało przedstawione na rys. 9. W badaniach doświadczalnych uwzględniono jedenaście mięśni. Badane mięśnie przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 10.



Rys. 9. Przykładowe umieszczenie elektrod powierzchniowych nad badanym mięśniem

Tabela 1. Wykaz badanych mięśni

| Lp. | Badane mięśnie (ang.) | Badane mięśnie (pl.)                       |
|-----|-----------------------|--|
| 1   | CERVICAL PS RT        | Mięsień tylny szyjny prawy                 |
| 2   | CERVICAL PS LT        | Mięsień tylny szyjny lewy                  |
| 3   | UPPER TRAP. RT        | Mięsień czworoboczny górny prawy           |
| 4   | UPPER TRAP. LT        | Mięsień czworoboczny górny lewy            |
| 5   | BICEPS BR. RT         | Mięsień dwugłowy ramienia prawego          |
| 6   | BICEPS BR. LT,        | Mięsień dwugłowy ramienia prawego          |
| 7   | THORACIC ES RT,       | Mięsień prostownik grzbietu prawy          |
| 8   | THORACIC ES LT        | Mięsień prostownik grzbietu lewy           |
| 9   | LUMBAR ES RT,         | Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy |
| 10  | LUMBAR ES LT,         | Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy  |
| 11  | RECTUS FEM. LT        | Mięsień prosty uda                         |



Rys. 10. Badane mięśnie

Sygnal EMG rejestrowano z zastosowaniem aparatu firmy Noraxon. Sterowanie procesem pomiarowym odbywało się za pomocą komputera. Sygnal EMG został zarejestrowany z zastosowaniem oprogramowania Noraxon MR wersji 3.10.64. Częstotliwość próbkowania sygnału EMG wynosiła 1500 Hz. Pasma przenoszenia aparatu Noraxon zawiera się w przedziale 10-500 Hz. [58].

Po zamocowaniu czujników dla każdego z badanych mięśni rejestrowano sygnał EMG w spoczynku (w dalszej części sygnał ten nazwano relax: rel) oraz podczas aktywacji mięśni w warunkach zbliżonych do obciążenia maksymalnego (nazwany jako sygnał referencyjny: ref). Iloraz sygnału referencyjnego i sygnału relax umożliwił określenie jakości sygnału EMG, natomiast sygnał referencyjny stanowił sygnał odniesienia dla sygnału zarejestrowanego podczas wykonywania procedury medycznej (tzw. normalizacja sygnału EMG).

Czas trwania pomiarów odpowiadał czasowi wykonania danej procedury a pomiary wykonywane były podczas ruchu karetki. Analizę wyników badań doświadczalnych przeprowadzono na podstawie najczęściej stosowanych parametrów sygnału EMG. Parametry te są wyznaczone w dziedzinie czasu (amplituda RMS) oraz w dziedzinie częstotliwości (częstotliwość średnia MPF, wyznaczana na podstawie transformaty Fouriera) [6].

Istotnym wskaźnikiem aktywności mięśnia jest amplituda sygnału EMG. Analizę amplitudy sygnału EMG można przeprowadzać w oparciu o amplitudę średniokwadratową RMS (ang. root mean square). Sposób wyznaczania parametru RMS opisuje zależność (1). Parametr RMS wyznaczany jest z fragmentów sygnału (tzw. okien) o określonej długości.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n}} \quad (1)$$

gdzie: n – liczba próbek podlegających analizie (długość okna);  $X_i$  – wartość i-tej próbki [58].

Zastosowane kryteria oceny sygnałów EMG wynikają z procesów fizjologicznych zachodzących w mięśniach pod wpływem obciążenia statycznego. Podczas statycznej pracy mięśni zahamowanie przepływu krwi jest tym większe, im większy jest nakład zużywanej siły. Jeśli siła ta wynosi 60% siły maksymalnej, to dopływ krwi do mięśnia praktycznie ustaje. Przy użyciu siły wynoszącej mniej niż 15-20% siły maksymalnej ukrwienie statycznie pracującego mięśnia nie powinno być upośledzone. Wymagania dotyczące czasu trwania skurczu w zależności od poziomu siły skurczu mięśniowego w stosunku do jego maksymalnych możliwości przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Maksymalny czas trwania skurczu mięśniowego [\*]

| Poziom siły skurczu mięśniowego w stosunku do maksymalnej siły (MVC) (%) | Maksymalny czas trwania skurczu mięśniowego (s) |
|--|---|
| < 5  | 60  |
| 5 – 10   | 30  |
| 10 – 20  | 15  |
| >20  | 5   |

\*ISO/TC 159/S.C. 3 WG 3 N 15 ANTHROPOMETRY AND BIOMECHANICS

Przyjęto, że napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia świadczyć będzie o nieprawidłowym napięciu statycznym mięśni, wynikającym z wymuszonej lub niewygodnej pozycji podczas wykonywania czynności medycznych.

Zewnętrzne obciążenia wynikające z charakteru czynności, często powtarzające się (ze względu na dużą powtarzalność analizowanych procedur medycznych podczas dyżuru) mogą prowadzić do przeciążeń objawiających się dolegliwościami układu mięśniowo-szkieletowymi. Są one spowodowane kumulowaniem się mikrourazów.

#### 6.2.3.2. Analiza uzyskanych wyników

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na identyfikację występowania zwiększonego napięcia w poszczególnych mięśniach.

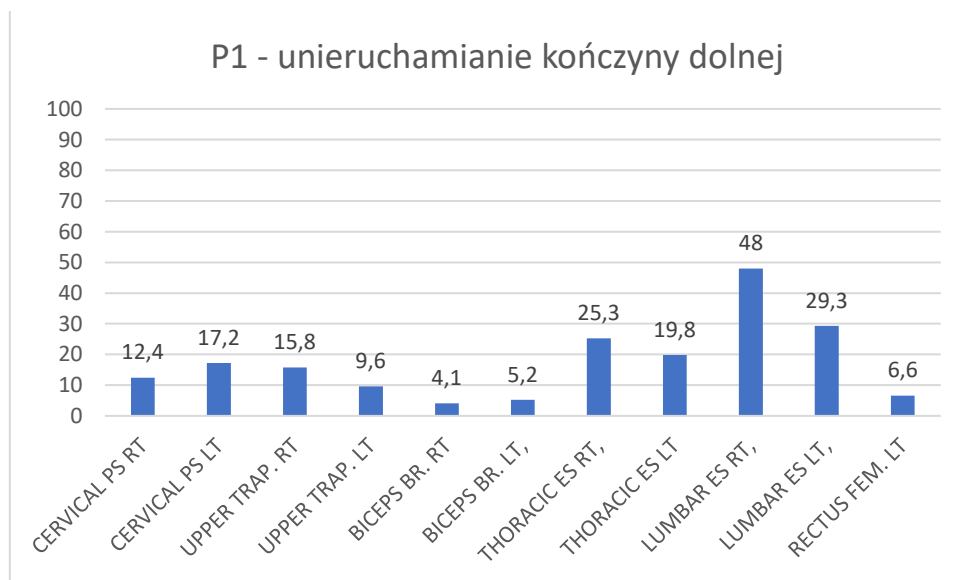
W tabelach 3-7 przedstawiono spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni a na rysunkach 11-15 procentową wartość napięcia każdego mięśnia w trakcie wykonywania każdej z procedur w stosunku do jego maksymalnych możliwości.

Przyjęto, że napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia świadczyć będzie o nieprawidłowym napięciu statycznym mięśni, wynikającym z wymuszonej lub niewygodnej pozycji podczas wykonywania czynności medycznych.

Tabela 3. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury unieruchamianie kończyny dolnej

| Lp. | Mięsień (ang)  | Mięsień (pl)                     | RMS średni | RMS max | RMS spoczynkowy przed | Wartość średnia w % w stosunku do RMS max |
|-----|----------------|----------------------------------|------------|---------|-----------------------|---|
| 1   | CERVICAL PS RT | Mięsień tylny szyjny prawy       | 36,3       | 292     | 9,96                  | 12,4                                      |
| 2   | CERVICAL PS LT | Mięsień tylny szyjny lewy        | 38,9       | 226     | 13,1                  | 17,2                                      |
| 3   | UPPER TRAP. RT | Mięsień czworoboczny górny prawy | 72,7       | 460     | 14,6                  | 15,8                                      |

|    |                |  |      |      |      |      |
|----|----------------|--|------|------|------|------|
| 4  | UPPER TRAP. LT | Mięsień czworoboczny górny lewy            | 54,5 | 569  | 25,6 | 9,6  |
| 5  | BICEPS BR. RT  | Mięsień dwugłowy ramienia prawego          | 141  | 3410 | 2,37 | 4,1  |
| 6  | BICEPS BR. LT  | Mięsień dwugłowy ramienia lewego           | 106  | 2045 | 4,72 | 5,2  |
| 7  | THORACIC ES RT | Mięsień prostownik grzbietu prawy          | 66,8 | 264  | 17,9 | 25,3 |
| 8  | THORACIC ES LT | Mięsień prostownik grzbietu lewy           | 48,5 | 245  | 5,87 | 19,8 |
| 9  | LUMBAR ES RT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy | 130  | 271  | 10,4 | 48,0 |
| 10 | LUMBAR ES LT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy  | 68   | 232  | 20,4 | 29,3 |
| 11 | RECTUS FEM. LT | Mięsień prosty uda                         | 49,1 | 747  | 28,8 | 6,6  |



Rys. 11. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury unieruchamianie kończyny dolnej

Podczas wykonywania procedury medycznej unieruchamianie kończyny dolnej, napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia wystąpiło dla mięśni:

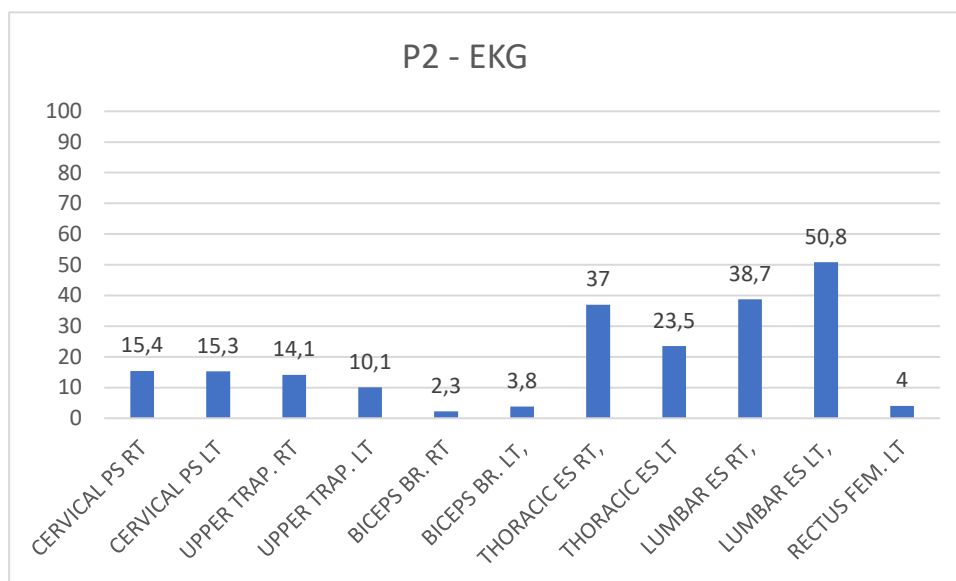
- THORACIC ES RT - Mięsień prostownik grzbietu prawy,



- LUMBAR ES RT - Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy,
- LUMBAR ES LT - Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy.

Tabela 4. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury EKG

| Lp. | Mięsień (ang)  | Mięsień (pl)                               | RMS średni | RMS max | RMS spoczynkowy przed | Wartość średnia w % w stosunku do RMS max |
|-----|----------------|--|------------|---------|-----------------------|---|
| 1   | CERVICAL PS RT | Mięsień tylny szyjny prawy                 | 45         | 292     | 9,96                  | 15,4                                      |
| 2   | CERVICAL PS LT | Mięsień tylny szyjny lewy                  | 34,7       | 226     | 13,1                  | 15,3                                      |
| 3   | UPPER TRAP. RT | Mięsień czworoboczny górny prawy           | 65,2       | 460     | 14,6                  | 14,1                                      |
| 4   | UPPER TRAP. LT | Mięsień czworoboczny górny lewy            | 58         | 569     | 25,6                  | 10,1                                      |
| 5   | BICEPS BR. RT  | Mięsień dwugłowy ramienia prawego          | 79,3       | 3410    | 2,37                  | 2,3                                       |
| 6   | BICEPS BR. LT  | Mięsień dwugłowy ramienia lewego           | 79,4       | 2045    | 4,72                  | 3,8                                       |
| 7   | THORACIC ES RT | Mięsień prostownik grzbietu prawy          | 97,9       | 264     | 17,9                  | 37,0                                      |
| 8   | THORACIC ES LT | Mięsień prostownik grzbietu lewy           | 57,6       | 245     | 5,87                  | 23,5                                      |
| 9   | LUMBAR ES RT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy | 105        | 271     | 10,4                  | 38,7                                      |
| 10  | LUMBAR ES LT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy  | 118        | 232     | 20,4                  | 50,8                                      |
| 11  | RECTUS FEM. LT | Mięsień prosty uda                         | 30,1       | 747     | 28,8                  | 4,0                                       |



Rys. 12. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury EKG

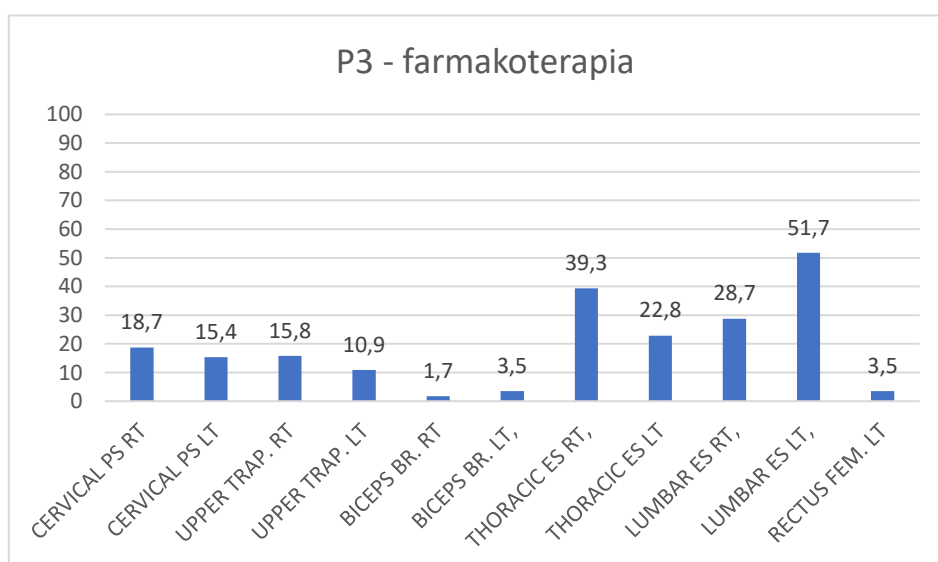
Podczas wykonywania procedury medycznej EKG, napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia wystąpiło dla mięśni:

- THORACIC ES RT - Mięsień prostownik grzbietu prawy,
- THORACIC ES LT - Mięsień prostownik grzbietu lewy,
- LUMBAR ES RT - Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy,
- LUMBAR ES LT - Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy.

Tabela 5. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury farmakoterapia

| Lp. | Mięsień (ang)  | Mięsień (pl)                     | RMS średni | RMS max | RMS spoczynkowy przed | Wartość średnia w % w stosunku do RMS max |
|-----|----------------|----------------------------------|------------|---------|-----------------------|---|
| 1   | CERVICAL PS RT | Mięsień tylny szyjny prawy       | 54,8       | 292     | 9,96                  | 18,7                                      |
| 2   | CERVICAL PS LT | Mięsień tylny szyjny lewy        | 34,9       | 226     | 13,1                  | 15,4                                      |
| 3   | UPPER TRAP. RT | Mięsień czworoboczny górny prawy | 73         | 460     | 14,6                  | 15,8                                      |
| 4   | UPPER TRAP. LT | Mięsień czworoboczny górny lewy  | 62,4       | 569     | 25,6                  | 10,9                                      |

|    |                |  |      |      |      |      |
|----|----------------|--|------|------|------|------|
| 5  | BICEPS BR. RT  | Mięsień dwugłowy ramienia prawego          | 61   | 3410 | 2,37 | 1,7  |
| 6  | BICEPS BR. LT  | Mięsień dwugłowy ramienia lewego           | 72,2 | 2045 | 4,72 | 3,5  |
| 7  | THORACIC ES RT | Mięsień prostownik grzbietu prawy          | 104  | 264  | 17,9 | 39,3 |
| 8  | THORACIC ES LT | Mięsień prostownik grzbietu lewy           | 56   | 245  | 5,87 | 22,8 |
| 9  | LUMBAR ES RT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy | 78   | 271  | 10,4 | 28,7 |
| 10 | LUMBAR ES LT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy  | 120  | 232  | 20,4 | 51,7 |
| 11 | RECTUS FEM. LT | Mięsień prosty uda                         | 26,2 | 747  | 28,8 | 3,5  |



Rys. 13. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury farmakoterapia

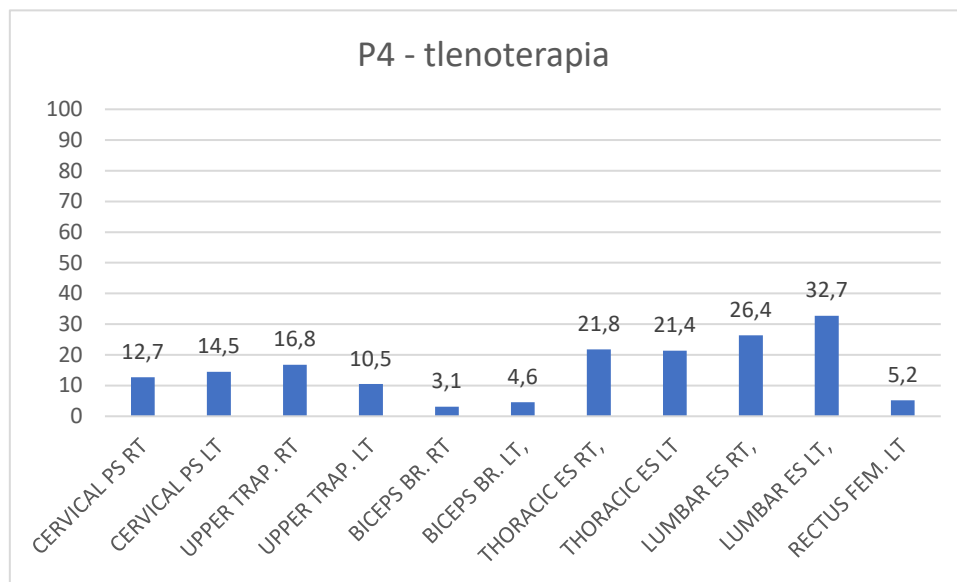
Podczas wykonywania procedury medycznej farmakoterapia, napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia wystąpiło dla mięśni:

- THORACIC ES RT - Mięsień prostownik grzbietu prawy,
- THORACIC ES LT - Mięsień prostownik grzbietu lewy,
- LUMBAR ES RT - Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy,
- LUMBAR ES LT - Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy.

Tabela 6. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury tlenoterapia

| Lp. | Mięsień (ang)  | Mięsień (pl)                               | RMS średni | RMS max | RMS spoczynkowy przed | Wartość średnia w % w stosunku do RMS max |
|-----|----------------|--|------------|---------|-----------------------|---|
| 1   | CERVICAL PS RT | Mięsień tylny szyjny prawy                 | 37,3       | 292     | 9,96                  | 12,7                                      |
| 2   | CERVICAL PS LT | Mięsień tylny szyjny lewy                  | 32,9       | 226     | 13,1                  | 14,5                                      |
| 3   | UPPER TRAP. RT | Mięsień czworoboczny górny prawy           | 77,7       | 460     | 14,6                  | 16,8                                      |
| 4   | UPPER TRAP. LT | Mięsień czworoboczny górny lewy            | 60,2       | 569     | 25,6                  | 10,5                                      |
| 5   | BICEPS BR. RT  | Mięsień dwugłowy ramienia prawego          | 109        | 3410    | 2,37                  | 3,1                                       |
| 6   | BICEPS BR. LT  | Mięsień dwugłowy ramienia lewego           | 94,3       | 2045    | 4,72                  | 4,6                                       |
| 7   | THORACIC ES RT | Mięsień prostownik grzbietu prawy          | 57,8       | 264     | 17,9                  | 21,8                                      |
| 8   | THORACIC ES LT | Mięsień prostownik grzbietu lewy           | 52,5       | 245     | 5,87                  | 21,4                                      |
| 9   | LUMBAR ES RT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy | 71,7       | 271     | 10,4                  | 26,4                                      |

|    |                |   |      |     |      |      |
|----|----------------|---|------|-----|------|------|
| 10 | LUMBAR ES LT   | Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy | 76   | 232 | 20,4 | 32,7 |
| 11 | RECTUS FEM. LT | Mięsień prosty uda                        | 39,1 | 747 | 28,8 | 5,2  |



Rys. 14. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury tlenoterapia

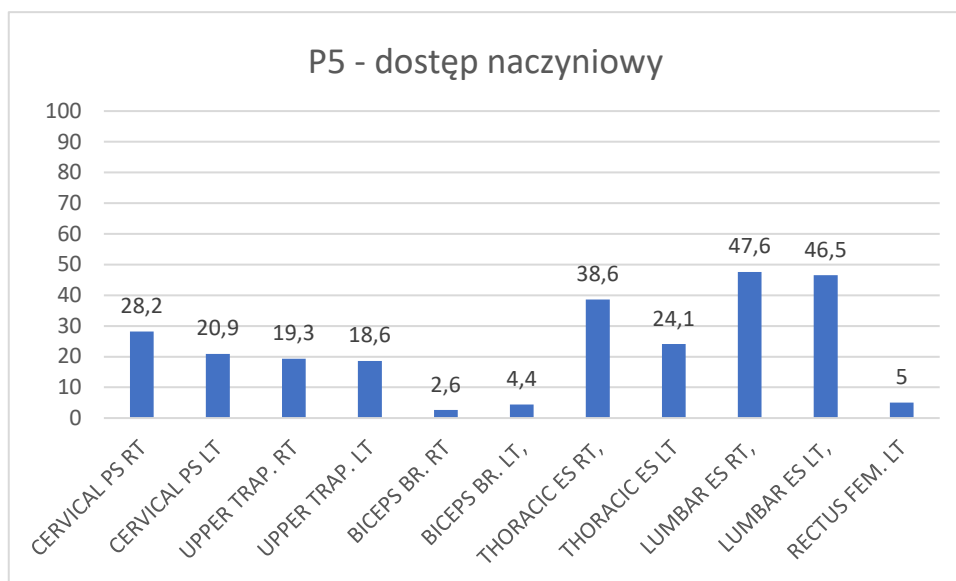
Podczas wykonywania procedury medycznej tlenoterapia, napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia wystąpiło dla mięśni:

- THORACIC ES RT - Mięsień prostownik grzbietu prawy,
- THORACIC ES LT - Mięsień prostownik grzbietu lewy,
- LUMBAR ES RT - Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy,
- LUMBAR ES LT - Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy.

Tabela 7. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury dostęp naczyniowy

| Lp. | Mięsień (ang)  | Mięsień (pl)               | RMS średni | RMS max | RMS spoczynkowy przed | Wartość średnia w % w stosunku do RMS max |
|-----|----------------|----------------------------|------------|---------|-----------------------|---|
| 1   | CERVICAL PS RT | Mięsień tylny szyjny prawy | 82,4       | 292     | 9,96                  | 28,2                                      |
| 2   | CERVICAL PS LT | Mięsień tylny szyjny lewy  | 47,3       | 226     | 13,1                  | 20,9                                      |

|    |                |  |      |      |      |      |
|----|----------------|--|------|------|------|------|
| 3  | UPPER TRAP. RT | Mięsień<br>czworoboczny<br>górný prawy                 | 89,1 | 460  | 14,6 | 19,3 |
| 4  | UPPER TRAP. LT | Mięsień<br>czworoboczny<br>górný lewy                  | 106  | 569  | 25,6 | 18,6 |
| 5  | BICEPS BR. RT  | Mięsień<br>dwugłowy<br>ramienia<br>prawego             | 90   | 3410 | 2,37 | 2,6  |
| 6  | BICEPS BR. LT  | Mięsień<br>dwugłowy<br>ramienia<br>lewego              | 90,9 | 2045 | 4,72 | 4,4  |
| 7  | THORACIC ES RT | Mięsień<br>prostownik<br>grzbietu<br>prawy             | 102  | 264  | 17,9 | 38,6 |
| 8  | THORACIC ES LT | Mięsień<br>prostownik<br>grzbietu lewy                 | 59,2 | 245  | 5,87 | 24,1 |
| 9  | LUMBAR ES RT   | Mięsień<br>prostownik<br>części<br>łędźwiowej<br>prawy | 129  | 271  | 10,4 | 47,6 |
| 10 | LUMBAR ES LT   | Mięsień<br>prostownik<br>części<br>łędźwiowej<br>lewy  | 108  | 232  | 20,4 | 46,5 |
| 11 | RECTUS FEM. LT | Mięsień<br>prosty uda                                  | 37,4 | 747  | 28,8 | 5,0  |



Rys. 15. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury dostęp naczyniowy

Podczas wykonywania procedury medycznej dostęp naczyniowy, napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia wystąpiło dla mięśni:

- CERVICAL PS RT - Mięsień tylny szyjny prawy,
- CERVICAL PS LT - Mięsień tylny szyjny lewy,
- THORACIC ES RT - Mięsień prostownik grzbietu prawy,
- THORACIC ES LT - Mięsień prostownik grzbietu lewy,
- LUMBAR ES RT - Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy,
- LUMBAR ES LT - Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy.

Można zauważyć, że podczas wykonywania procedur medycznych: EKG, farmakoterapia oraz tlenoterapia występują przekroczenia napięcia dla tych samych mięśni. Co więcej, przekroczenia napięcia mięśni: THORACIC ES RT, LUMBAR ES RT, LUMBAR ES LT (Mięsień prostownik grzbietu prawy, Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy, Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy) występują podczas wykonywania wszystkich badanych procedur medycznych, tj.: unieruchamianie kończyny dolnej, EKG, farmakoterapia, tlenoterapia, dostęp naczyniowy.

#### 6.2.4. Rejestracja kinematyki ruchu podczas wykonywania wybranych procedur medycznych

Wymuszona i nieprawidłowa pozycja ratownika podczas wykonywania procedur medycznych skutkuje dużym napięciem mięśniowym, ale również charakteryzuje się wymuszonym położeniem ciała w przestrzeni stanowiska pracy. Stopień wymuszenia pozycji

można określić stosując pomiar zakresów ruchu w wybranych stawach, aktywnych podczas wykonywania procedur medycznych. W niniejszej pracy zdecydowano się wykorzystać nieinwazyjną metodę z zastosowaniem systemu MyoMotion w celu zbadania kinematyki ruchu.

W badaniu wykorzystano system MyoMotion firmy Noraxon. System ten łączy w sobie technologię bezprzewodowej transmisji danych i czujniki inercyjne do oceny dowolnego ruchu w 3D. W skład zestawu wchodzi czujniki inercyjne (każdy z nich łączy akcelerometr, żyroskop i czujnik pola magnetycznego ziemi) wraz z akcesoriami do ich montaż, a także oprogramowaniem umożliwiającym zarówno rejestrację danych, jak i kompleksową analizę [38]. Wybór systemu MyoMotion podyktowany był specyfikacją zawartą w instrukcji [38].:

- „...całkowicie bezprzewodowy system do nagrywania ruchu,
- analiza 3D zmian kątów między segmentami, orientacji czujników i przyspieszeń liniowych,
- przenośny system do użytku zewnętrznego lub wewnętrznego,
- dokładność zmian kąta zapisu +/- 1° w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej, +/- 2° w płaszczyźnie poprzecznej,
- czujniki zasilane bateryjnie, umożliwiające 8 godzin nagrywania sygnału, pełne naładowanie w 3 godziny,
- częstotliwość próbkowania 100 lub 200 Hz (w zależności od konfiguracji),
- rozbudowane oprogramowanie z zaimplementowanymi modelami wszystkich głównych połączeń,
- zestaw gotowych raportów do oceny ruchu, w tym ocena chodu, ocena zakresu ruchu i analiza powtarzalności ruchu,
- każdy czujnik można przypisać do dowolnego segmentu,
- wizualizacja pomiaru w czasie rzeczywistym za pomocą awatara (szkieletu)...”.

#### **6.2.4.1. Procedura przebiegu badań**

W badaniach eksperymentalnych uwzględniono piętnaście kątów anatomicznych elementów (stawów) ciała. W badaniach uwzględniono kąty obydwu stron ciała, zarówno po lewej jak i po prawej stronie. Badane kąty przedstawiono w tabeli 8.

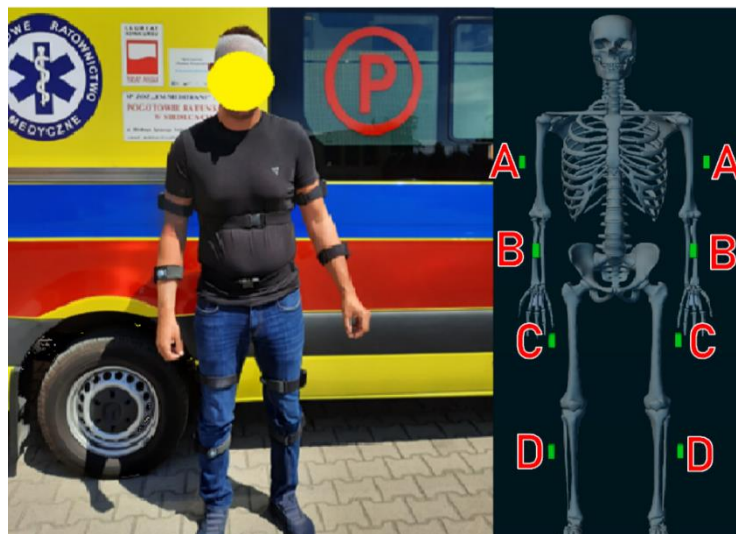


Tabela 8. Wykaz badanych kątów anatomicznych elementów ciała

| <b>Lp.</b> | <b>Nazwa angielska</b> | <b>Nazwa polska</b>                         |
|------------|------------------------|---|
| 1          | Cervical Flexion       | Zgięcie odcinka szyjnego                    |
| 2          | Cervical Lateral       | Zgięcie boczne odcinka szyjnego             |
| 3          | Cervical Axial         | Rotacja odcinka szyjnego                    |
| 4          | Lumbar Flexion         | Zgięcie odcinka lędźwiowego                 |
| 5          | Lumbar Lateral         | Zgięcie boczne odcinka lędźwiowego          |
| 6          | Lumbar Axial           | Rotacja odcinka lędźwiowego                 |
| 7          | Thoracic Flexion       | Zgięcie odcinka piersiowego                 |
| 8          | Thoracic Lateral       | Zgięcie boczne odcinka piersiowego          |
| 9          | Thoracic Axial         | Rotacja odcinka piersiowego                 |
| 10         | Hip Flexion LT         | Zgięcie stawu biodrowego lewego             |
| 11         | Hip Flexion RT         | Zgięcie stawu biodrowego prawego            |
| 12         | Hip Abduction LT       | Odwodzenie stawu biodrowego lewego          |
| 13         | Hip Abduction RT       | Odwodzenie stawu biodrowego prawego         |
| 14         | Hip Rotation - out LT  | Rotacja zewnętrzna stawu biodrowego lewego  |
| 15         | Hip Rotation - out RT  | Rotacja zewnętrzna stawu biodrowego prawego |

Wyznaczanie kątów anatomicznych wykonano zgodnie z zasadami medycznej metody neutralnej/zerowej. Przyjmuje się, że u osoby stojącej prosto wszystkie połączenia znajdują się w pozycji zerowej, nawet jeśli występuje odchylenie od geometrycznego kąta zerowego. Na przykład kąt geometryczny w stawie skokowym wynosi  $90^\circ$ , podczas gdy kąt anatomiczny wynosi  $0^\circ$ .

Każdy z czujników zawiera etykietę osi X, Y i Z. Wszystkie czujniki zlokalizowano na segmentach ciała w taki sposób, aby w pozycji stojącej wektor osi X na etykiecie czujnika został skierowany pionowo wzdłuż osi działania siły grawitacji. Czujniki inercyjne zostały umieszczone na ciele ratownika medycznego w celu zarejestrowania przyspieszeń zgodnie z protokołem MyoMotion opisanym w instrukcji obsługi [9].



Rys. 16. Umieszczenie czujników na badanym ratowniku medycznym – widok z przodu  
[opracowanie własne]



Rys. 17. Umieszczenie czujników na badanym ratowniku medycznym – widok z tyłu  
[opracowanie własne]

Rozmieszczenie czujników pokazano na rysunkach 16 i 17, natomiast legendę z opisem czujników w tabeli niżej.

Tabela 9. Lista lokalizacji czujników

| Symbol | Lokalizacja czujników    |
|--------|--------------------------|
| A      | Ramię (RT i LT)          |
| B      | Przedramię (RT i LT)     |
| C      | Udo (RT i LT)            |
| D      | Łydka (RT i LT)          |
| E      | Miednica                 |
| F      | Dolny odcinek kręgosłupa |
| G      | Górny odcinek kręgosłupa |

W trakcie badania czujniki zostały umieszczone na 11 segmentach ciała, zgodnie z instrukcją oprogramowania MR3. Czujniki umieszczono symetrycznie po prawej i lewej stronie ciała badanego ratownika medycznego. Na kończynach górnych czujniki umieszczono na ramionach (przyczep boczny w środku kości ramiennej), przedramionach (przyczep boczny w środku kości ramiennej).

W przypadku kończyn dolnych czujniki umieszczono w dolnej części nogi (przednia powierzchnia kości piszczelowej), udzie (przyczep przedni do mięśnia czworogłowego dolnego, nieco powyżej rzepki w miejscu najmniejszego przemieszczenia brzośca mięśnia podczas ruchu) oraz kręgosłupa lędźwiowego i krzyżowego. Jeden z czujników został również umieszczony z tyłu głowy.

Dzięki umieszczeniu poszczególnych czujników MyoMotion na dwóch sąsiednich segmentach ciała, możliwa jest ocena zakresu ruchu ROM (ang. Range of motion) stawu leżącego pomiędzy tymi segmentami. Istnieje możliwość łatwego rozszerzenia działania tej zasady od pomiaru ruchu pojedynczego stawu do jednoczesnego pomiaru ruchu całego ciała we wszystkich badanych stawach. Częstotliwość próbkowania czujników inercyjnych została ustalona na 200 Hz. Poszczególne czujniki posiadają taką samą funkcjonalność, jednak są rozpoznawalne w systemie poprzez zastosowanie unikalnego numeru seryjnego. Czujniki MyoMotion przesyłają ruch ciała człowieka bezpośrednio do odbiornika MyoMotion, którego moduł zapewnia bezprzewodową komunikację z czujnikami IMU (inertial measurement unit) na częstotliwości 2,4 GHz oraz posiada zasięg działania 30 m. System MyoMotion, tak jak zostało to już wskazane w jego zaletach, jest całkowicie bezprzewodowy. W związku z tym, możliwa była rejestracja wartości parametrów w kabinie obok kierowcy, jednocześnie nie ograniczając przy tym miejsca pracy ratownika wykonującego czynności medyczne. Czujniki zostały umieszczone na ciele ratownika za pomocą specjalnych pasów. Kolejnym krokiem, była kalibracja czujników. Podczas kalibracji badany ratownik musiał stać nieruchomo w pozycji wyprostowanej, utrzymując przy tym stopy na szerokości bioder, a ręce wzdłuż ciała na szerokości ramion. Po kalibracji ratownik wykonał poszczególne procedury medyczne na symulatorze medycznym znajdującym się w ambulansie. Mierzone kąty przyjmowały wartości ujemne oraz dodatnie, przy czym pozycja kalibracji jest wartością zerową. Wartości ujemne oznaczają rotację w lewo oraz zgięcia boczne, natomiast rotacje w prawo są zawsze dodatnie [9].

### 6.2.4.2. Analiza wyników

Tabela nr 10 przedstawia normalne zakresy ruchu dla każdego stawu określone przez różne standardy i źródła. Zakres ruchu (ROM) to zdolność stawu do wykonywania pełnego spektrum ruchów. Każdy staw ma określony normalny zakres wartości ROM, podczas gdy każda osoba ma inną zdolność do jego osiągnięcia. W badaniach analizowano tylko aktywny zakres ruchu, czyli taki który ratownik wykonywał samodzielnie. Poniżej znajdują się ogólnie przyjęte wartości dla normalnego zakresu ruchu dla niektórych stawów mierzone w stopniach.

Tabela 10. Normalne zakresy ruchu według Międzynarodowego Standardu Pomiaru Ortopedycznego (International Standard of Orthopedic Measurement – ISOM)

| Staw/segment                  | Płaszczyzna ruchu | Rodzaj ruchu          |   |                        | Stopnie [standard ISOM]  |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|---|------------------------|--|
|                               |                   | (-)                   |   | (+)                    |  |
| Kręgosłup szyjny              | Strzałkowa        | Wyprost               | 0 | Zgięcie                | 40 <sup>0</sup> – 0 – 40 <sup>0</sup>  |
|                               | Czołowa           | Zgięcie boczne w lewo | 0 | Zgięcie boczne w prawo | 45 <sup>0</sup> – 0 – 45 <sup>0</sup>  |
|                               | Rotacja           | Rotacja osiowa w lewo | 0 | Rotacja osiowa w prawo | 50 <sup>0</sup> – 0 – 50 <sup>0</sup>  |
| Kręgosłup piersiowy           | Strzałkowa        | Wyprost               | 0 | Zgięcie                | 25 <sup>0</sup> – 0 – 35 <sup>0</sup>  |
|                               | Czołowa           | Zgięcie boczne w lewo | 0 | Zgięcie boczne w prawo | 25 <sup>0</sup> – 0 – 25 <sup>0</sup>  |
|                               | Rotacja           | Rotacja osiowa w lewo | 0 | Rotacja osiowa w prawo | 30 <sup>0</sup> – 0 – 30 <sup>0</sup>  |
| Kręgosłup lędźwiowy           | Strzałkowa        | Wyprost               | 0 | Zgięcie                | 15 <sup>0</sup> – 0 – 50 <sup>0</sup>  |
|                               | Czołowa           | Zgięcie boczne w lewo | 0 | Zgięcie boczne w prawo | 20 <sup>0</sup> – 0 – 20 <sup>0</sup>  |
|                               | Rotacja           | Rotacja osiowa w lewo | 0 | Rotacja osiowa w prawo | 5 <sup>0</sup> – 0 – 5 <sup>0</sup>  |
| Kręgosłup lędźwiowo-piersiowy | Strzałkowa        | Wyprost               | 0 | Zgięcie                | 30 <sup>0</sup> – 0- 85 <sup>0</sup><br>(35 <sup>0</sup> – 0 – 85 <sup>0</sup> ) * |
|                               | Czołowa           | Zgięcie boczne w lewo | 0 | Zgięcie boczne w prawo | 30 <sup>0</sup> – 0 -30 <sup>0</sup><br>(45 <sup>0</sup> – 0 – 45 <sup>0</sup> )*  |
|                               | Rotacja           | Rotacja osiowa w lewo | 0 | Rotacja osiowa w prawo | 45 <sup>0</sup> – 0 – 45 <sup>0</sup><br>(35 <sup>0</sup> – 0 – 35 <sup>0</sup> )* |
| Biodro                        | Strzałkowa        | Wyprost               | 0 | Zgięcie                | 15 <sup>0</sup> – 0 – 125 <sup>0</sup>   |
|                               | Czołowa           | Odwodzenie            | 0 | Przywodzenie           | 45 <sup>0</sup> – 0 – 25 <sup>0</sup>  |
|                               | Rotacja           | Rotacja zewnętrzna    | 0 | Rotacja wewnętrzna     | 45 <sup>0</sup> – 0 – 40 <sup>0</sup>  |

Przyjęto z: Ferguson [22]

W pracy przedstawiono wyniki dla zakresów ruchu kręgosłupa szyjnego, piersiowego, lędźwiowego oraz bioder. Zmierzone wartości zakresów kątowych dla wykonywanych zabiegów medycznych przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11. Wartości zmierzonych zakresów analizowanych ruchów dla poszczególnych procedur medycznych oraz przekroczenia normalnych zakresów ruchu dla wykonywanych procedur (ZW – zmierzone wartości, P - przekroczenia)

| Zakres ruchu |                                    |                                      |                                   |                   |                |          |                 |                     |                                    |                        |                                  |
|--------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|----------|-----------------|---------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|              |                                    | Procedury                            |                                   |                   |                |          |                 |                     |                                    |                        |                                  |
| Lp.          | Segment ciała/rodzaj ruchu         | W1 – unieruchamianie kończyny dolnej |                                   | W2 - tlenoterapia |                | W3 - EKG |                 | W4 - farmakoterapia |                                    | W5 – dostęp naczyniowy |                                  |
|              |                                    | ZW                                   | P                                 | ZW                | P              | ZW       | P               | ZW                  | P                                  | ZW                     | P                                |
| 1            | Zgięcie odcinka szyjnego           | 33,32                                | -                                 | 34,40             | -              | 105,3    | <b>32,8(+)</b>  | 36,72               | -                                  | 32,19                  | -                                |
| 2            | Zgięcie boczne odcinka szyjnego    | 49,34                                | -                                 | 33,05             | -              | 103,8    | <b>54,62(-)</b> | 35,3                | -                                  | 43,47                  | -                                |
| 3            | Rotacja odcinka szyjnego           | 84,45                                | -                                 | 83,37             | <b>4,85(+)</b> | 144,1    | <b>69,68(-)</b> | 85,32               | -                                  | 8,74                   | <b>6,80(+)</b>                   |
| 4            | Zgięcie odcinka lędźwiowego        | 56,29                                | <b>5,06(+)</b>                    | 48,64             | -              | 44,08    | -               | 73,98               | <b>5,96(+)</b><br><b>3,02(-)</b>   | 50,64                  | -                                |
| 5            | Zgięcie boczne odcinka lędźwiowego | 30,09                                | <b>1,97(-)</b>                    | 30,45             | <b>2,16(+)</b> | 27,3     | -               | 47,17               | <b>0,56(+)</b><br><b>6,61(-)</b>   | 32,51                  | -                                |
| 6            | Rotacja odcinka lędźwiowego        | 27,87                                | <b>11,47(+)</b><br><b>6,39(-)</b> | 15,63             | <b>7,25(-)</b> | 24,39    | <b>14,71(-)</b> | 40,99               | <b>10,99(+)</b><br><b>20,02(-)</b> | 20,82                  | <b>3,96(+)</b><br><b>6,86(-)</b> |
| 7            | Zgięcie odcinka piersiowego        | 57,89                                | <b>0,98(-)</b>                    | 37,48             | -              | 61,76    | <b>13,34(+)</b> | 115,5               | <b>54,87(+)</b><br><b>10,61(-)</b> | 68,34                  | <b>13,70(-)</b>                  |
| 8            | Zgięcie boczne odcinka piersiowego | 71,92                                | <b>2,55(+)</b><br><b>19,36(-)</b> | 31,74             | -              | 48,29    | <b>15,35(-)</b> | 96,99               | <b>41,62(+)</b><br><b>5,37(-)</b>  | 57,78                  | <b>17,32(-)</b>                  |
| 9            | Rotacja odcinka piersiowego        | 68,92                                | <b>9,79(-)</b>                    | 48,80             | <b>3,22(-)</b> | 80,42    | <b>32,55(-)</b> | 150,2               | <b>110,53(+)</b>                   | 65,05                  | <b>32,38(-)</b>                  |
| 10           | Zgięcie stawu biodrowego lewego    | 101                                  | <b>61,63(-)</b>                   | 62,72             | -              | 74,64    | -               | 168,7               | <b>105,7(-)</b>                    | 77,45                  | -                                |
| 11           | Zgięcie stawu biodrowego prawego   | 115,4                                | <b>50,51(-)</b>                   | 55,26             | -              | 74,52    | -               | 103,3               | <b>28,66(-)</b>                    | 78,46                  | -                                |
| 12           | Odwodzenie stawu biodrowego lewego | 84,87                                | <b>5,23(+)</b><br><b>9,64(-)</b>  | 48,79             | <b>4,06(+)</b> | 35,18    | -               | 123,3               | <b>27,23(+)</b><br><b>24,02(-)</b> | 39,03                  | -                                |

|    |   |       |                                   |       |                 |       |                 |       |                                    |        |                 |
|----|---|-------|-----------------------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|------------------------------------|--------|-----------------|
| 13 | Odwodzenie stawu biodrowego prawego         | 100,2 | <b>20,79(+)</b><br><b>9,46(-)</b> | 63,85 | -               | 45,46 | -               | 145,8 | <b>45,62(+)</b><br><b>30,22(-)</b> | 58,59  | -               |
| 14 | Rotacja zewnętrzna stawu biodrowego lewego  | 137,1 | <b>64,76(+)</b>                   | 44,43 | -               | 63,2  | -               | 85,89 | <b>10,98(+)</b>                    | 58,45  | <b>9,54(-)</b>  |
| 15 | Rotacja zewnętrzna stawu biodrowego prawego | 230,9 | b.p.                              | 64,75 | <b>13,66(-)</b> | 101,8 | <b>38,98(-)</b> | 50,96 | b.p.                               | 151,17 | <b>60,44(-)</b> |

Wartości wskazane pogrubioną czcionką w tabeli 11 wykraczają poza normalny zakres ruchu. Można zauważyć, że większość uzyskanych wartości zakresów ruchu nie mieści się w fizjologicznych zakresach normalnych podanych w normach.

Poniżej przedstawiono zmierzone zakresy ruchu podczas poszczególnych zabiegów medycznych, które nie przekraczały wartości normalnych, tj.:

- wartości zakresów ruchu zgięcia odcinka szyjnego podczas unieruchomienia kończyny dolnej, tlenoterapii, farmakoterapii i dostępie naczyniowym,
- wartości zakresów ruchu zgięcia bocznego odcinka szyjnego podczas unieruchomienia kończyny dolnej, tlenoterapii, farmakoterapii i dostępie naczyniowym,
- wartości zakresów rotacji odcinka szyjnego podczas unieruchomienia kończyny dolnej i farmakoterapii,
- wartości zakresów ruchu zgięcia odcinka lędźwiowego podczas tlenoterapii, EKG i dostępie naczyniowym,
- wartości zakresów ruchu zgięcia bocznego odcinka lędźwiowego podczas EKG i dostępie naczyniowym,
- wartości zakresów ruchu zgięcia odcinka piersiowego podczas tlenoterapii,
- wartości zakresów ruchu zgięcia bocznego odcinka piersiowego podczas tlenoterapii,
- wartości zakresów ruchu zgięcia stawu biodrowego lewego i prawego podczas tlenoterapii, EKG oraz dostępu naczyniowego,
- wartości zakresów ruchu odwodzenia stawu biodrowego lewego podczas EKG i dostępu naczyniowego,

- wartości zakresów ruchu odwodzenia stawu biodrowego prawego podczas EKG, tlenoterapii i dostępu naczyniowego,
- wartości zakresów ruchu rotacji zewnętrznej stawu biodrowego lewego podczas tlenoterapii i EKG.

W trakcie wykonywania procedury medycznej unieruchomienia kończyny dolnej wartości zmierzonych zakresów ruchu dla stawów: zgięcia odcinka lędźwiowego, zgięcia boczego odcinka lędźwiowego, rotacji odcinka lędźwiowego, zgięcia odcinka piersiowego, zgięcia boczego odcinka piersiowego, rotacji odcinka piersiowego, odwodzenia stawu biodrowego lewego nie mieszczą się w podanych fizjologicznych zakresach w normach, przy czym wartości te nie przekraczają 20 stopni. Natomiast przy wykonywaniu tej samej procedury, czyli unieruchomienia kończyny dolnej, wartości zmierzonych zakresów ruchu w stawach: zgięcia stawu biodrowego lewego oraz prawego, odwodzenia stawu biodrowego prawego oraz rotacji zewnętrznej stawu biodrowego lewego przekraczają wartości zakresów prawidłowych o ponad 20 stopni. Można zauważyć, że wykonywanie procedury unieruchamianie kończyny dolnej nie ma negatywnego wpływu tylko na odcinek szyjny.

Podczas wykonywania zabiegu medycznego EKG wartości zmierzonych zakresów ruchu stawów: rotacji odcinka lędźwiowego, zgięcie odcinka piersiowego, zgięcie boczne odcinka piersiowego nie mieszczą się w podanych fizjologicznych zakresach w normach, przy czym wartości te nie przekraczają 20 stopni. Natomiast podczas wykonywania tego samego zabiegu medycznego, czyli EKG, wartości zmierzonych zakresów ruchu stawów zgięcia odcinka szyjnego, zgięcia boczego odcinka szyjnego, rotacji odcinka szyjnego, rotacji odcinka piersiowego, rotacji zewnętrznej stawu biodrowego prawego przekraczają o ponad 30 stopni normalne zakresy ruchu. Można zauważyć, że wykonanie zabiegu medycznego EKG w ambulansie ma najbardziej negatywny wpływ na odcinek szyjny i piersiowy.

Podczas wykonywania zabiegu medycznego tlenoterapia wartości zmierzonych zakresów ruchu stawów: rotacji odcinka szyjnego, zgięcia boczego odcinka lędźwiowego, rotacji odcinka lędźwiowego, rotacji odcinka piersiowego, odwodzenia stawu biodrowego lewego oraz rotacji zewnętrznej stawu biodrowego prawego nie mieszczą się w podanych fizjologicznych zakresach w normach, przy czym wartości te nie przekraczają 20 stopni. Można zauważyć, że wykonanie zabiegu medycznego tlenoterapii w ambulansie ma najbardziej negatywny wpływ na odcinek lędźwiowy.

Podczas wykonywania zabiegu medycznego farmakoterapii wartości zmierzonych zakresów ruchu stawów: zgięcia odcinka lędźwiowego, zgięcia boczego odcinka lędźwiowego, rotacji odcinka lędźwiowego, zgięcia stawu biodrowego prawego, odwodzenie

stawu biodrowego lewego, rotacji zewnętrznej stawu biodrowego lewego nie mieszczą się w podanych fizjologicznych zakresach w normach, przy czym wartości te nie przekraczają 30 stopni. Natomiast podczas wykonywania tego samego zabiegu medycznego, czyli farmakoterapii, wartości zmierzonych zakresów ruchu stawów zgięcia odcinka piersiowego, zgięcia boczno-odwrotnego odcinka piersiowego, rotacji odcinka piersiowego, zgięcia stawu biodrowego lewego, odwodzenie stawu biodrowego prawego przekraczają o ponad 30 stopni normalne zakresy ruchu. Można zauważyć, że wykonanie zabiegu medycznego farmakoterapii w ambulansie ma najbardziej negatywny wpływ na odcinek piersiowy.

Podczas wykonywania zabiegu medycznego dostępu naczyniowego wartości zmierzonych zakresów ruchu stawów rotacji odcinka szyjnego, rotacji odcinka lędźwiowego, zgięcia odcinka piersiowego, zgięcia boczno-odwrotnego odcinka piersiowego, rotacji zewnętrznej stawu biodrowego lewego nie mieszczą się w podanych fizjologicznych zakresach w normach, przy czym wartości te nie przekraczają 20 stopni. Natomiast podczas wykonywania tego samego zabiegu medycznego, czyli dostępu naczyniowego, wartości zmierzonych zakresów ruchu stawów rotacji odcinka piersiowego, rotacji zewnętrznej stawu biodrowego prawego przekraczają o ponad 30 stopni normalne zakresy ruchu. Można zauważyć, że wykonanie zabiegu medycznego dostępu naczyniowego w ambulansie ma najbardziej negatywny wpływ na odcinek piersiowy.

Analizując powyższe wyniki można dostrzec także wartości odbiegające znacząco od normy. Są to błędy pomiarowe (b.p.), których przyczyną może być np. negatywny wpływ sprzętu medycznego pracującego w kabinie ambulansu czy wyładowanie czujników wskutek długotrwałych pomiarów.

#### **6.2.5. Ocena ryzyka podczas wykonywania wybranych procedur medycznych za pomocą metody REBA (Rapid Entire Body Assessment)**

Spośród czynników biomechanicznych mających największy wpływ na obciążenie mięśniowo-szkieletowe największe znaczenie ma pozycja ciała, wywierana siła (siła zewnętrzna), a także czas utrzymywania obciążenia. Te trzy czynniki biomechaniczne wzajemnie na siebie wpływają i warunkują obciążenie oraz zmęczenie spowodowane wykonywaniem danych czynności [7].

Do oceny ryzyka rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych podczas wykonywania procedur medycznych przez ratownika medycznego zastosowano metodę REBA (Rapid Entire Body Assessment) została opracowana przez ergonomistów z University of Nottingham w Wielkiej Brytanii Dr. Sue Hignett i Dr. Lynn McAtamney. REBA to metoda



pomiaru obciążenia całego ciała w czasie realizowania zadań roboczych w pozycji stojącej [43]. Metoda ta daje możliwość oszacowania ryzyka powstania schorzeń narządu ruchu spowodowanych przyjętą pozycją ciała podczas wykonywania pracy, zakresem ruchów, stosowaną siłą, obciążeniem zewnętrznym, dynamiką pracy mięśni, a także rodzajem chwytu przy wykonywaniu czynności na stanowisku pracy charakteryzującym się zmiennością pozycji ciała [36]. Metoda ta została przetestowana na wielu grupach pracowników, którzy wykonują pracę wymagającą wysiłku fizycznego oraz wykonywaną często w niefizjologicznych, wymuszonych pozycjach ciała, które powodują dolegliwości ze strony układu ruchu. Istotne jest, iż REBA uwzględnia obciążenia całego układu mięśniowo-szkieletowego, które są związane zarówno z użyciem siły do wykonania określonego zadania oraz z koniecznością utrzymania niezbędnej pozycji ciała. Zależnie od potrzeb możliwe jest dokonanie tylko oceny czynności związanych z największym obciążeniem układu ruchu (np. przyjmowaniem wyraźnie niekorzystnych pozycji ciała), na skutek czego otrzymuje się informację o poziomie ryzyka zawodowego oraz konieczności dokonania interwencji ergonomicznej [36]. Istotną zaletą metody REBA jest prostota stosowania oraz szybkość w uzyskiwaniu wiarygodnych wyników. Końcowy wynik określa poziom ryzyka wystąpienia dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego oraz zakres działań ergonomicznych w celu ograniczenia tego ryzyka. Walory tej metody przyczyniły się do spopularyzowania jej nie tylko w środowisku naukowym, ale także wśród pracowników służb bhp.

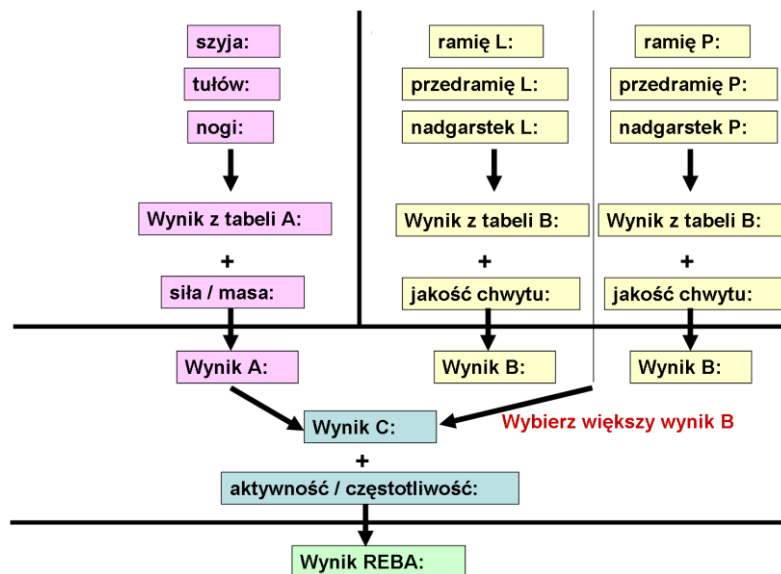
#### **6.2.5.1. Procedura przebiegu badań**

Do oszacowania ryzyka metodą REBA należy wyznaczyć [30]:

- wskaźnik oceny łącznego obciążenia pozycją szyi, tułowia oraz kończyn dolnych uwzględniając obciążenie zewnętrzne, rodzaj wykonywanego ruchu oraz sposób przemieszczania,
- wskaźnik oceny łącznego obciążenia pozycją ramienia, przedramienia, nadgarstka uwzględniając jakość trzymania ręcznego – obciążenie chwytem,
- wskaźnik oceny obciążenia całego ciała pozycją, stosowaną siłą oraz jakością uchwytu, – wskaźnik oceny całkowitego obciążenia ciała pracą.

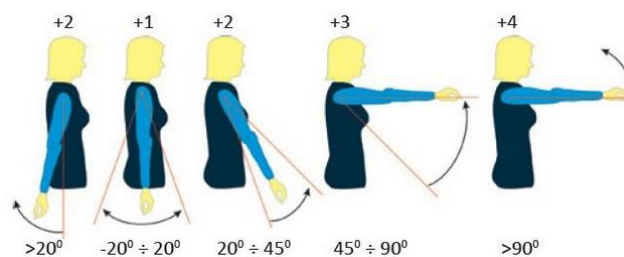
Na podstawie wyżej wymienionych wskaźników wyznacza się kategorię ryzyka oraz określa działania niezbędne. Procedura, na podstawie której dokonuje się oceny całkowitego obciążenia ciała pozycją, dynamiką ruchów podczas pracy oraz używaną siłą składa się z 13

etapów. Poniżej przedstawiono schemat postępowania podczas oceny ryzyka zawodowego metodą REBA.

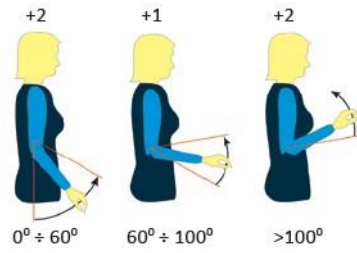


Rys. 18. Schemat postępowania podczas stosowania metody REBA [43]

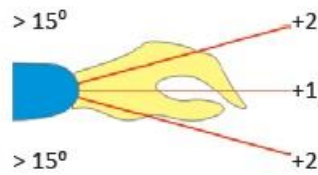
W celu dokonania identyfikacji pozycji ciała zakresy ruchów poszczególnych elementów ciała należy rozpatrywać w płaszczyźnie strzałkowej. W przypadku, kiedy pozycja ciała wymaga również uwzględnienia ruchu bądź położenia w innych płaszczyznach, np. przy występowaniu przywodzenia lub odwodzenia, nawracania lub odwracania winna być dokonana modyfikacja wcześniej przeprowadzonej oceny pozycji. Metoda REBA uwzględnia sześć segmentów ciała: głowa, szyja, tułów, kończyna dolna, ręka z nadgarstkiem, przedramię oraz ramię. Określając ułożenie poszczególnych segmentów ciała należy odnieść się do kończyn górnych, tułowia oraz kończyn dolnych. Ręka, przedramię oraz ramię znajdują się w grupie opisującej kończynę górną, natomiast poprzez kąt zgięcia szyi i kąt zgięcia pleców w części lędźwiowej określana jest pozycja tułowia. Położenie kończyny górnej określa się jednym z dwóch kodów położenia ręki (kąt w nadgarstku), jednym z dwóch kodów położenia przedramienia oraz jednym z czterech kodów położenia ramienia (rys. 19-21) [59].



Rys. 19. Ocena obciążenia ramion metodą REBA [43]

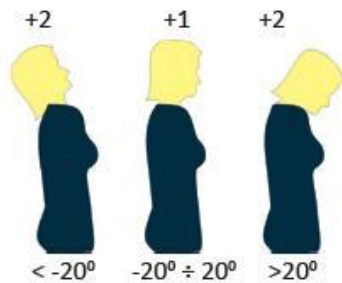


Rys. 20. Ocena obciążenia przedramion metodą REBA [43]

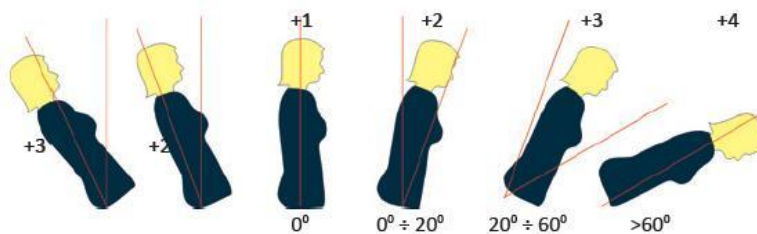


Rys. 21. Ocena obciążenia nadgarstka metodą REBA [43]

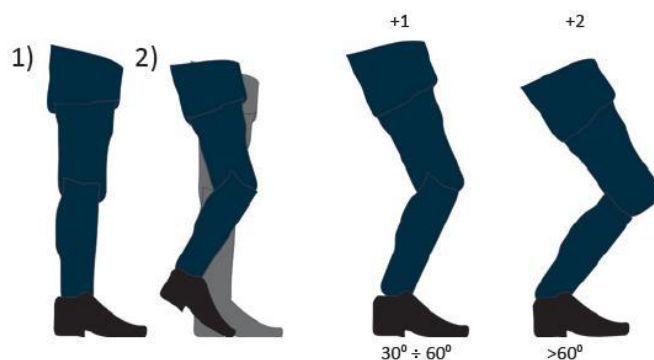
Ocena położenia tułowia określana jest przez kąty pochyleń głowy i pleców oraz położenia kończyn dolnych (rys. 22-24).



Rys. 22. Ocena obciążenia szyi metodą REBA [43]



Rys. 23. Ocena obciążenia tułowia metodą REBA [43]



Rys. 24. Ocena obciążenia kończyn dolnych metodą REBA [43]

W ostatnim etapie należy określić wartość stosowanej siły (jakość uchwytu) oraz pracy mięśni. W metodzie REBA ryzyko oceniane jest według pięciostopniowej skali oceny ryzyka. Każdej kategorii końcowej oceny przypisany jest odpowiedni poziom ryzyka oraz zalecane działania (tabela 12) [59].

Tabela 12. Określenie poziomu ryzyka niezbędnych działań [59]

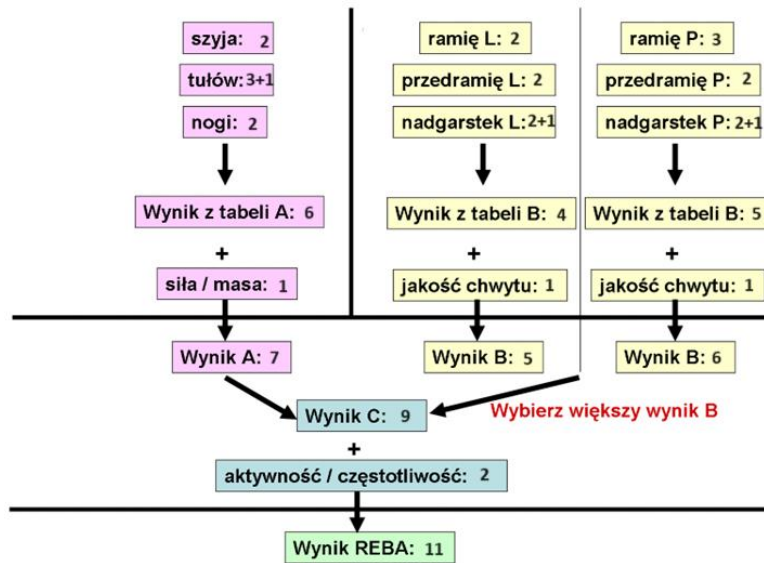
| Poziom działania | Wynik REBA | Ryzyko         | Działanie             |
|------------------|------------|----------------|-----------------------|
| 0                | 1          | Niewielkie     | Nie jest potrzebne    |
| 1                | 2-3        | Małe           | Może być potrzebne    |
| 2                | 4-7        | Średnie        | Potrzebne             |
| 3                | 8-10       | Wysokie        | Konieczne wkrótce     |
| 4                | 11-15      | Bardzo wysokie | Niezbędne natychmiast |

#### 6.2.5.2. Analiza uzyskanych wyników

Stosując metodę REBA uzyskano informacje dotyczące poziomu ryzyka rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych podczas wykonywania procedur medycznych. Poniżej przedstawiono wyniki dla każdej z pięciu analizowanych procedur.

##### Unieruchamianie kończyny dolnej

Zgodnie z założeniami metody REBA położenie ciała podczas wykonywania czynności unieruchamianie kończyny dolnej można opisać kodami, tak jak to przedstawiono w tabelach w załączniku numer 2.



Rys. 25. Pozycja podczas unieruchamiania kończyny dolnej wraz z oceną REBA [opracowanie własne]

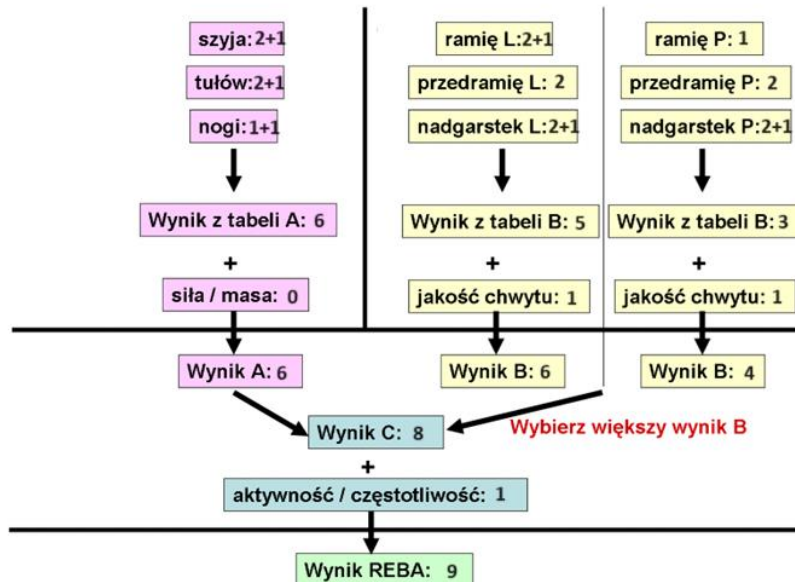
Przyjęte początkowo kody tułowia oraz nadgarstka zostały zwiększone ze względu na modyfikacje stanu początkowego. W tym przypadku chwyt oceniono jako dostateczny, co spowodowało zwiększenie wyniku oceny analizowanej części ciała o 1. Obciążenie wynosi około 8 kg., co również spowodowało zwiększenie oceny o 1. Ponadto ratownik medyczny podczas wykonywania wskazanej czynności wykonuje czynności powtarzalne oraz przeważa wysiłek statyczny (+2). Wynik końcowy odczytany z tablic REBA, wynosi 11, co zgodnie z tabelą 12 wskazuje na bardzo duże ryzyko.



Rys. 26. Pozycja podczas wykonywania procedury unieruchamiania kończyny dolnej [opracowanie własne]

## Elektrokardiografia (EKG)

Zgodnie z założeniami metody REBA położenie ciała podczas wykonywania procedury medycznej EKG w pozycji nr 2 można opisać kodami, tak jak to przedstawiono w tabelach w załączniku numer 2.



Rys. 27. Pozycja podczas wykonywania procedury EKG wraz z oceną REBA [opracowanie własne]

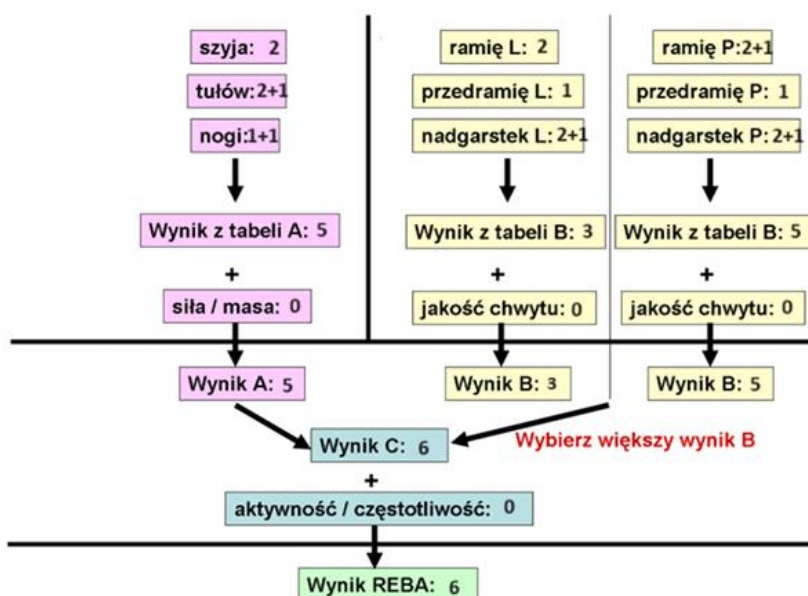
Przyjęte początkowo kody szyi, tułowia, kończyn dolnych, ramion oraz nadgarstka zostały zwiększone ze względu na modyfikacje stanu początkowego. W tym przypadku chwyt oceniono jako dostateczny, co spowodowało zwiększenie wyniku oceny analizowanej części ciała o 1. Ponadto podczas wykonywania wskazanej czynności przeważa wysiłek statyczny (+1). Wynik końcowy odczytany z tablic REBA, wynosi 9, co zgodnie z tabelą 12 wskazuje na duże ryzyko.



Rys. 28. Pozycja podczas wykonywania procedury EKG [opracowanie własne]

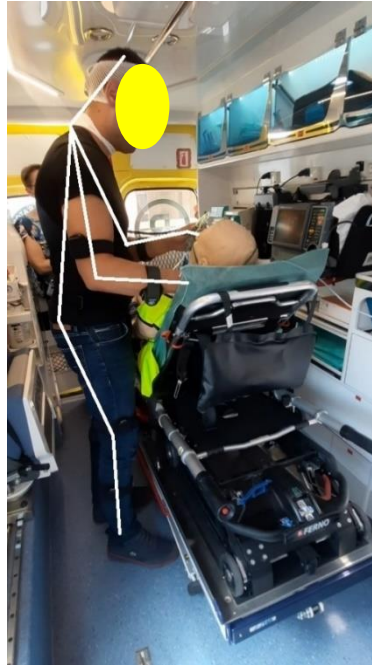
### Tlenoterapia

Zgodnie z założeniami metody REBA położenie ciała podczas wykonywania czynności tlenoterapia można opisać kodami, tak jak to przedstawiono w tabelach w załączniku numer 2.



Rys. 29. Ocena REBA dla procedury tlenoterapia [opracowanie własne]

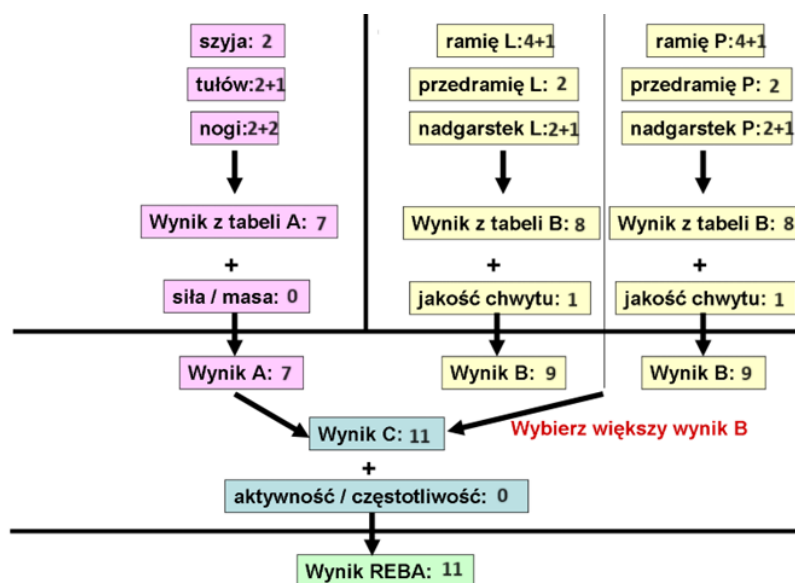
Przyjęte początkowo kody tułowia, kończyn dolnych, ramion oraz nadgarstka zostały zwiększone ze względu na modyfikacje stanu początkowego. W tym przypadku chwyt oceniono jako dobry, a obciążenie poniżej 5 kg. Wynik końcowy odczytany z tablic REBA, wynosi 6, co zgodnie z tabelą 12 wskazuje na średnie ryzyko.



Rys. 30. Pozycja podczas wykonywania procedury tlenoterapia [opracowanie własne]

### Farmakoterapia

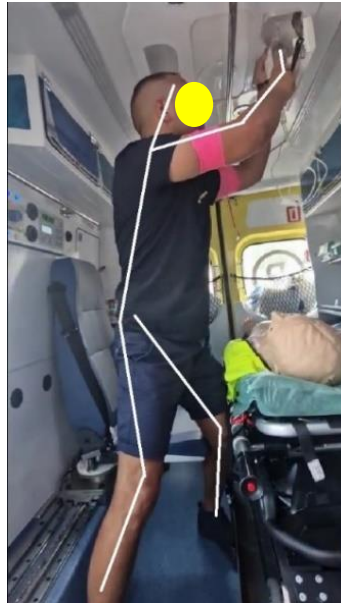
Zgodnie z założeniami metody REBA położenie ciała podczas wykonywania czynności farmakoterapii można opisać kodami, tak jak to przedstawiono w tabelach w załączniku numer 2.



Rys. 31. Ocena REBA dla procedury farmakoterapia [opracowanie własne]



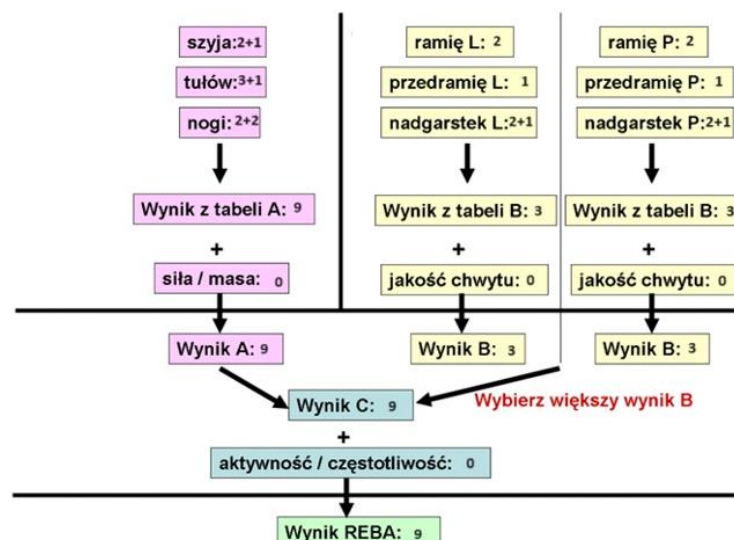
Przyjęte początkowo kody tułowia, kończyn dolnych, ramion oraz nadgarstka zostały zwiększone ze względu na modyfikacje stanu początkowego. W tym przypadku chwyt oceniono jako dostateczny, co spowodowało zwiększenie wyniku oceny analizowanej części ciała o 1. Obciążenie oceniono poniżej 5 kg. Wynik końcowy odczytany z tablic REBA, wynosi 11, co zgodnie z tabelą 12 wskazuje na bardzo duże ryzyko.



Rys. 32. Pozycja podczas wykonywania procedury farmakoterapia [opracowanie własne]

### Dostęp naczyniowy

Zgodnie z założeniami metody REBA położenie ciała podczas wykonywania czynności dostęp naczyniowy można opisać kodami, tak jak to przedstawiono w tabelach w załączniku numer 2.



Rys. 33. Ocena REBA dla procedury dostęp naczyniowy [opracowanie własne]

Przyjęte początkowo kody szyi, tułowia, kończyn dolnych, nadgarstka zostały zwiększone ze względu na modyfikacje stanu początkowego. W tym przypadku chwyt oceniono jako dobry. Obciążenie oceniono poniżej 5 kg. Wynik końcowy odczytany z tablic REBA, wynosi 9, co zgodnie z tabelą 12 wskazuje na duże ryzyko.



Rys. 34. Pozycja podczas wykonywania procedury dostęp naczyniowy [opracowanie własne]

Powyższa analiza wykazała występowanie bardzo dużego (dwie procedury), dużego (dwie procedury) i średniego (jedna procedura) ryzyka wystąpienia u ratowników doległości mięśniowo-szkieletowych (tabela 13).

Tabela 13. Określenie poziomu ryzyka podczas wykonywanych procedur według metody REBA

| <b>Procedura</b>                | <b>Poziom ryzyka</b> |
|---------------------------------|----------------------|
| Unieruchamianie kończyny dolnej | Bardzo duże ryzyko   |
| EKG                             | Duże ryzyko          |
| Tlenoterapia                    | Średnie ryzyko       |
| Farmakoterapia                  | Bardzo duże ryzyko   |
| Dostęp naczyniowy               | Duże ryzyko          |

Teoretycznie, procedury wykonywane są w sposób losowy w ciągu dyżuru, jednak z danych udostępnionych przez Samodzielny Zespół Ratunkowy w Siedlcach [85] wynika, że wykonywanych jest najczęściej 5, tych szczegółowo przebadanych w rozprawie. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, można prognozować, że wraz z upływem czasu, ratownicy będą się uskarżać na doległości mięśniowo-szkieletowe.

### 6.3. Podsumowanie uzyskanych wyników

Powyższe badania wykonano w celu identyfikacji pozycji roboczych przyjmowanych przez ratownika podczas wybranych, najczęściej wykonywanych procedur medycznych, które definiowano w oparciu o obciążenie mięśni aktywizujących się w trakcie wykonywanych czynnościach, jak i o kinematykę ruchu poszczególnych części ciała, charakterystyczną dla tych czynności. Analiza kinematyki ruchu w stawach (tabela 11) wykazała nadmierne przekroczenia zakresu normalnego dla odcinka szyjnego i piersiowego kręgosłupa oraz stawów biodrowych. Przekroczenia dla tych samych stawów występowały podczas wykonywania prawie każdej z analizowanych procedur.

Tabela 14. Przekroczenia normalnego zakresu kąтового w analizowanych stawach w odniesieniu do wykonywanych procedur

| Procedura                       | Przekroczenia normalnego zakresu kąowego w analizowanych stawach /wymuszona pozycja ciała/ |                             |  |   |                                 |                          |                          |                             |                             |                                    |
|---------------------------------|--|-----------------------------|--|---|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
|                                 | Staw biodrowy  |                             |  |   | Odcinek szyjny                  |                          |                          | Odcinek piersiowy           |                             |                                    |
|                                 | Zgięcie stawu biodrowego   | Odwodzenia stawu biodrowego | Rotacja zewnętrzna stawu biodrowego lewego | Rotacja zewnętrzna stawu biodrowego prawego | Zgięcie boczne odcinka szyjnego | Zgięcie odcinka szyjnego | Rotacja odcinka szyjnego | Rotacja odcinka piersiowego | Zgięcie odcinka piersiowego | Zgięcia boczne odcinka piersiowego |
| Unieruchamianie kończyny dolnej | X  | X                           | X  |   |                                 |                          |                          |                             |                             |                                    |
| Elektrokardiografia             |  |                             |  | X   | X                               | X                        | X                        | X                           |                             |                                    |
| Farmakoterapia                  | X  | X                           |  |   |                                 |                          |                          | X                           | X                           | X                                  |
| Dostęp naczyniowy               |  |                             |  | X   |                                 |                          |                          | X                           |                             |                                    |
| Tlenoterapia                    | Brak istotnych przekroczeń   |                             |  |   |                                 |                          |                          |                             |                             |                                    |

Jedynie w procedurze tlenoterapia nie wykazano istotnych przekroczeń, co również potwierdziła ocena ryzyka przeprowadzona metodą REBA, która wykazała średnie ryzyko pojawienia się dolegliwości mięśniowo-szkieletowych i jednocześnie najmniejsze w porównaniu z pozostałymi badanymi procedurami.

Pewną analogię można zauważyć również w wynikach uzyskanych z badań EMG, czyli powtarzalność nadmiernego obciążenia tych samych mięśni, niezależnie od analizowanej procedury (tabele 3-7). Są to prostowniki części lędźwiowej kręgosłupa i prostowniki grzbietu.

Tabela 15. Nadmierne obciążone mięśnie w odniesieniu do wykonywanej procedury

| Procedura                       | Nadmierne obciążone mięśnie /wymuszona pozycja ciała/ |                                  |                      |  |   |
|---------------------------------|---|----------------------------------|----------------------|--|---|
|                                 | Mięsień prostownik grzbietu prawy                     | Mięsień prostownik grzbietu lewy | Mięsień tylny szyjny | Mięsień prostownik części lędźwiowej prawy | Mięsień prostownik części lędźwiowej lewy |
| Unieruchamianie kończyny dolnej | X   |                                  |                      | X  | X   |
| Elektrokardiografia             | X   | X                                |                      | X  | X   |
| Farmakoterapia                  | X   |                                  |                      | X  | X   |
| Dostęp naczyniowy               | X   |                                  | X                    | X  | X   |
| Tlenoterapia                    |   |                                  |                      | X  | X   |

Podobnie jak w przypadku analizy zakresów kątowych, również w przypadku analizy obciążenia mięśni - wykonywanie procedury tlenoterapia obarczone jest w najmniejszym stopniu, w odniesieniu do pozostałych procedur, ryzykiem wystąpienia dolegliwości mięśniowo-szkieletowych.

## 7. Opracowanie modelu rozmytego oceny poziomu dyskomfortu

Zgodnie z przyjętymi wcześniej założeniami eliminacji uciążliwości, które mogą stanowić zagrożenie w aspekcie ryzyka pojawienia się dolegliwości mięśniowo-szkieletowych co w efekcie może prowadzić do zmniejszonej sprawności ratownika powinna odbywać się już na etapie badania prototypu. Wyniki wieloaspektowych badań dały podstawę do zdefiniowania parametrów wejściowych do modelu generującego zintegrowany wskaźnik dyskomfortu na stanowisku pracy ratownika. Badaniom była poddana karetka typu S, Marki Mercedes Sprinter i dla tego „typoszeregu” karetek została opracowana metoda oceny dyskomfortu. Zastosowanie zbiorów rozmytych, opartych na tzw. modelowaniu lingwistycznym, pozwoliło na wykorzystanie wiedzy ekspertów.

### 7.1. Założenia do budowy modelu

Model generujący zintegrowany wskaźnik dyskomfortu oparty został na następujących założeniach:

- wskaźnik ZWDK zależny jest od wskaźnika  $WDK_{EMG}$  wynikającego z napięcia mięśniowego oraz wskaźnika  $WDK_{MM}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych w stawach przyjętych za „normalne”,
- wskaźniki te wraz z czasem trwania procedury (T) i częstością jej występowania (CZ) stanowią zmienne wejściowe w modelu Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK.

W submodelu Wskaźnika Dyskomfortu  $WDK_{EMG}$  (dobór mięśni dokonywany na podstawie pomiarów napięcia mięśni metodą EMG) zmiennymi wejściowymi były:

- mięsień prostownik grzbietu prawy (M1),
- mięsień prostownik grzbietu lewy (M2),
- mięsień prostownik części lędźwiowej prawy (M3),
- mięsień prostownik części lędźwiowej lewy (M4),
- mięsień tylny szyjny (M5).

W submodelu Wskaźnika Dyskomfortu  $WDK_{MM}$  (dobór stawów dokonywany na podstawie pomiarów kątów metodą MyoMotion) zmiennymi wejściowymi były:

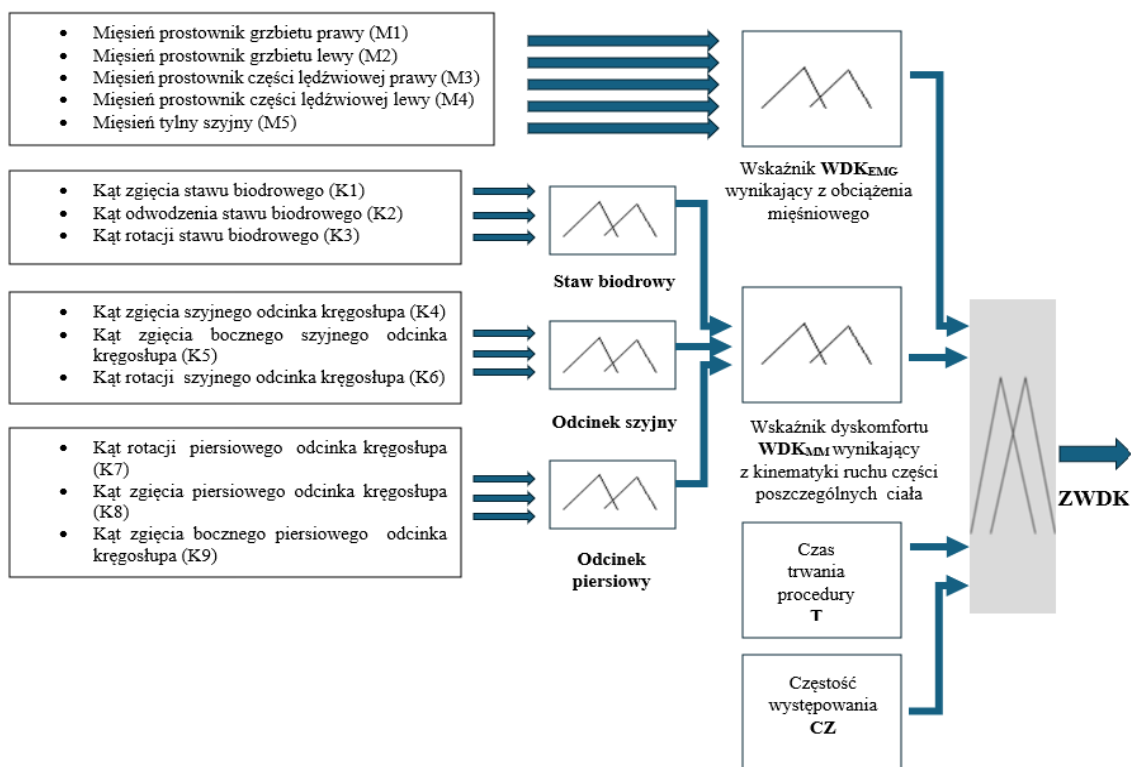
- kąt zgięcia stawu biodrowego (K1),
- kąt odwodzenia stawu biodrowego (K2),
- kąt rotacji stawu biodrowego (K3),
- kąt zgięcia szyjnego odcinka kręgosłupa (K4),

- kąt zgięcia bocznego szyjnego odcinka kręgosłupa (K5),
- kąt rotacji szyjnego odcinka kręgosłupa (K6),
- kąt rotacji piersiowego odcinka kręgosłupa (K7),
- kąt zgięcia piersiowego odcinka kręgosłupa (K8),
- kąt zgięcia bocznego piersiowego odcinka kręgosłupa (K9).

Przy czym wskaźnik  $WDK_{MM}$  jest uzależniony od:

- $WDK_{MM\_B}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w stawie biodrowym,
- $WDK_{MM\_SZ}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku szyjnym kręgosłupa,
- $WDK_{M\_P}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku piersiowym kręgosłupa.

Strukturę modelu zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu przedstawia rys. 35.



Rys. 35. Struktura modelu rozmytego zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu (ZWDK)

## 7.2. Określenie kryteriów oceny parametrów wejściowych modelu

Zmiennym wejściowym opisanym powyżej nadano odpowiednie poziomy przedstawione w tabeli 16. Ze względu na efektywność numeryczną opisanych w dalszej części algorytmów wszystkim zmiennym wejściowym przypisano im wartości z zakresu od 0 do 1. Podobne podejście zastosowano w stosunku do zmiennych wejściowych do modelu rozmytego Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK.

Tabela 16. Zakres zmian wartości analizowanych zmiennych wejściowych

| Lp. | Zmienna wejściowa                                      | Symbol | Poziom zmiennej wejściowej |         |      |
|-----|--|--------|----------------------------|---------|------|
|     |  |        | Wartość z zakresu <0, 1>   |         |      |
|     |  |        | 0                          | 0,5     | 1    |
| 1   | Napięcie mięśnia prostownika grzbietu prawego          | M1     | małe                       | średnie | duże |
| 2   | Napięcie mięśnia prostownika grzbietu lewego           | M2     | małe                       | średnie | duże |
| 3   | Napięcie mięśnia prostownika części lędźwiowej prawego | M3     | małe                       | średnie | duże |
| 4   | Napięcie mięśnia prostownika części lędźwiowej lewego  | M4     | małe                       | średnie | duże |
| 5   | Napięcie mięśnia szyjnego tylnego                      | M5     | małe                       | średnie | duże |
| 6   | Kąt zgięcia stawu biodrowego                           | K1     | mały                       | średni  | duży |
| 7   | Kąt odwodzenia stawu biodrowego                        | K2     | mały                       | średni  | duży |
| 8   | Kąt rotacji stawu biodrowego                           | K3     | mały                       | średni  | duży |
| 9   | Kąt zgięcia szyjnego odcinka kręgosłupa                | K4     | mały                       | średni  | duży |
| 10  | Kąt zgięcia boczno-szyjnego odcinka kręgosłupa         | K5     | mały                       | średni  | duży |
| 11  | Kąt rotacji szyjnego odcinka kręgosłupa                | K6     | mały                       | średni  | duży |
| 12  | Kąt rotacji piersiowego odcinka kręgosłupa             | K7     | mały                       | średni  | duży |
| 13  | Kąt zgięcia piersiowego odcinka kręgosłupa             | K8     | mały                       | średni  | duży |

|    |  |    |        |         |       |
|----|--|----|--------|---------|-------|
| 14 | Kąt zgięcia boczego piersiowego odcinka kręgosłupa | K9 | mały   | średni  | duży  |
| 15 | Czas trwania procedury                             | T  | Krótki | średni  | długi |
| 16 | Częstość występowania procedury                    | CZ | mała   | średnia | duża  |

Przy czym poziomom napięcia mięśniowego przypisano wartości zgodnie z Tabelą 17.

Tabela 17. Poziomy napięcia mięśniowego

| <b>mały</b>      | <b>średni</b>       | <b>duży</b>      |
|------------------|---------------------|------------------|
| <20% $RMS_{max}$ | 20%-40% $RMS_{max}$ | >40% $RMS_{max}$ |

Definiując kryteria oceny napięcia mięśniowego przyjęto, że napięcie mięśniowe powyżej 20% maksymalnej siły dla danego mięśnia świadczyć będzie już o nieprawidłowym napięciu statycznym mięśni, wynikającym z wymuszonej lub niewygodnej pozycji podczas wykonywania czynności medycznych (rozdz. 6.2.3.2).

Natomiast poziomom zakresów kątowych badanych stawów przypisano wartości przedstawione w tabeli 18. Poziomy czasu trwania procedury przedstawiono w tabeli 19, natomiast poziomy częstości występowania procedury w ciągu roku w tabeli 20.

Tabela 18. Poziomy zakresów kątowych

| <b>mały</b>                           | <b>średni</b>                            | <b>duży</b>                           |
|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| <20% przekroczenie zakresu normalnego | 20%-40% przekroczenie zakresu normalnego | >40% przekroczenie zakresu normalnego |

Tabela 19. Poziomy czasu trwania procedury

| <b>krótki</b> | <b>średni</b>  | <b>długi</b> |
|---------------|----------------|--------------|
| < 1,5 minuty  | 1,5 – 3 minuty | > 3 minut    |

Tabela 20. Poziomy częstości występowania procedury w ciągu roku

| <b>mała</b>        | <b>średnia</b>            | <b>duża</b>           |
|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| <5000 procedur/rok | 10000 - 5000 procedur/rok | > 10 000 procedur/rok |



### 7.3. Budowa modeli lingwistycznych

Wiedza pozyskana w trakcie kompleksowych badań dała podstawę do opracowania modelu zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu ZWDK. Wskaźnik ten zależy od wskaźnika dyskomfortu wynikającego z napięcia mięśniowego oraz z zakresu kąтового ruchu w stawach, jak również od czasu trwania procedury i częstości jej występowania. Zmienne wyjściowe z tych submodeli stanowią jednocześnie zmienne wejściowe w modelu ZWDK.

#### 7.3.1. Submodel wskaźnika dyskomfortu $WDK_{EMG}$

Zmienne wejściowe zostały opisane w tabeli 16. Poziom końcowy wskaźnika  $WDK_{EMG}$  nadawano wg skali przedstawionej w tabeli 21.

Tabela 21. Poziom wskaźnika  $WDK_{EMG}$

| <b>Poziom <math>WDK_{EMG}</math></b> |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| <b>liczbowo</b>                      | <b>słownie</b>  |
| 0                                    | bardzo dobry    |
| 0,25                                 | dobry           |
| 0,5                                  | dopuszczalny    |
| 1                                    | niedopuszczalny |

Wpływ napięcia poszczególnych mięśni na poziom wskaźnika  $WDK_{EMG}$  przedstawia Tabela 22 (przedstawiono fragment zależności, pełna tabela znajduje się w załączniku 3).

Tabela 22. Wpływ napięcia poszczególnych mięśni na wielkość wskaźnika  $WDK_{EMG}$

| Lp. | Napięcie mięśnia prostownika grzbietu prawego - M1 | Napięcie mięśnia prostownika grzbietu lewego - M2 | Napięcie mięśnia prostownika części lędźwiowej prawego - M3 | Napięcie mięśnia prostownika części lędźwiowej lewego - M4 | Napięcie mięśnia szyjnego tylnego - M5 | $WDK_{EMG}$  |
|-----|--|---|---|--|--|--------------|
| 1.  | małe   | małe  | małe  | małe   | małe                                   | bardzo dobry |
| 2   | małe   | małe  | małe  | małe   | średnie                                | bardzo dobry |
| 3   | małe   | małe  | małe  | małe   | duże                                   | bardzo dobry |
| 4   | małe   | małe  | małe  | średnie  | małe                                   | bardzo dobry |
| 5   | małe   | małe  | małe  | średnie  | średnie                                | bardzo dobry |
| 6   | małe   | małe  | małe  | średnie  | duże                                   | bardzo dobry |
| 7   | małe   | małe  | małe  | duże   | małe                                   | dobry        |

|    |      |      |         |      |         |              |
|----|------|------|---------|------|---------|--------------|
| 8  | małe | małe | małe    | duże | średnie | dobry        |
| 9  | małe | małe | małe    | duże | duże    | dopuszczalny |
| 10 | małe | małe | średnie | małe | małe    | bardzo dobry |
| 11 | .... | .... | ....    | .... | ....    | ....         |

Dane zawarte w tabeli są podstawą do budowy modelu lingwistycznego, sformułowanego w postaci zbioru relacji implikacyjnych. Fragment powyżej opisanego modelu ma postać:

„Jeżeli M1 jest *małe* i M2 jest *średnie* i M3 jest *średnie* i M4 jest *duże* i M5 jest *duże* to  $WDK_{EMG}$  jest *dopuszczalny*.

Jeżeli M1 jest *małe* i M2 jest *średnie* i M3 jest *duże* i M4 jest *małe* i M5 jest *małe* to  $WDK_{EMG}$  jest *dopuszczalny*.

.....

Jeżeli M1 jest *małe* i M2 jest *średnie* i M3 jest *duże* i M4 jest *średnie* M5 jest *małe* to  $WDK_{EMG}$  jest *dobry*...”

### 7.3.2. Submodel wskaźnika dyskomfortu $WDK_{MM}$

Wskaźnik dyskomfortu  $WDK_{MM}$  oceniany jest pod kątem następujących zmiennych:

- wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_B}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w stawie biodrowym,
- wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_SZ}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku szyjnym kręgosłupa,
- wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_P}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku piersiowym kręgosłupa.

Zmienne wejściowe zostały opisane w Tabeli 16. Poziom wskaźników  $WDK_{MM}$ ,  $WDK_{MM\_B}$ ,  $WDK_{MM\_SZ}$ ,  $WDK_{MM\_P}$  nadawano wg skali poziomów przedstawionych w tabeli 23.

Tabela 23. Zakres poziomów oceny wskaźnika  $WDK_{MM}$

| Poziom $WDK_{MM}$ , $WDK_{MM\_B}$ , $WDK_{MM\_SZ}$ , $WDK_{MM\_P}$ |                 |
|--|-----------------|
| liczbowo   | słownie         |
| 0  | bardzo dobry    |
| 0,25   | dobry           |
| 0,5  | dopuszczalny    |
| 1  | niedopuszczalny |

## Submodel WDK<sub>MM,B</sub>

Wskaźnik dyskomfortu WDK<sub>MM,B</sub> wynikający z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w stawie biodrowym oceniany jest pod kątem następujących kryteriów:

- kąt zgięcia stawu biodrowego (K1),
- kąt odwodzenia stawu biodrowego (K2),
- kąt rotacji stawu biodrowego (K3).

Wpływ poszczególnych zmiennych wejściowych (kątów w stawie biodrowym) na poziom wskaźnika dyskomfortu WDK<sub>MM,B</sub> pokazano w tabeli 24.

Tabela 24. Wpływ poszczególnych kątów stawu biodrowego na poziom wskaźnika dyskomfortu (WDK<sub>MM,B</sub>)

| Lp. | Kąt zgięcia stawu biodrowego K1 | Kąt odwodzenia stawu biodrowego K2 | Kąt rotacji stawu biodrowego K3 | WDK <sub>MM,B</sub> |
|-----|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1.  | mały                            | mały                               | mały                            | bardzo dobry        |
| 2.  | mały                            | mały                               | średni                          | bardzo dobry        |
| 3.  | mały                            | mały                               | duży                            | bardzo dobry        |
| 4.  | mały                            | średni                             | mały                            | bardzo dobry        |
| 5.  | mały                            | średni                             | średni                          | bardzo dobry        |
| 6.  | mały                            | średni                             | duży                            | dobry               |
| 7.  | mały                            | duży                               | mały                            | dobry               |
| 8.  | mały                            | duży                               | średni                          | dobry               |
| 9.  | mały                            | duży                               | duży                            | dobry               |
| 10. | średni                          | mały                               | mały                            | bardzo dobry        |
| 11. | średni                          | mały                               | średni                          | dobry               |
| 12. | średni                          | mały                               | duży                            | dobry               |
| 13. | średni                          | średni                             | mały                            | dobry               |
| 14. | średni                          | średni                             | średni                          | dobry               |
| 15. | średni                          | średni                             | duży                            | dopuszczalny        |
| 16. | średni                          | duży                               | mały                            | dopuszczalny        |
| 17. | średni                          | duży                               | średni                          | dopuszczalny        |
| 18. | średni                          | duży                               | duży                            | niedopuszczalny     |
| 19. | duży                            | mały                               | mały                            | dopuszczalny        |
| 20. | duży                            | mały                               | średni                          | dopuszczalny        |
| 21. | duży                            | mały                               | duży                            | niedopuszczalny     |
| 22. | duży                            | średni                             | mały                            | dopuszczalny        |
| 23. | duży                            | średni                             | średni                          | niedopuszczalny     |
| 24. | duży                            | średni                             | duży                            | niedopuszczalny     |
| 25. | duży                            | duży                               | mały                            | niedopuszczalny     |
| 26. | duży                            | duży                               | średni                          | niedopuszczalny     |
| 27. | duży                            | duży                               | duży                            | niedopuszczalny     |

Sformułowane zależności w powyższej tabeli były podstawą budowy modelu lingwistycznego  $WDK_{MM\_B}$ .

### Submodel $WDK_{MM\_SZ}$

Wskaźnik dyskomfortu  $WDK_{MM\_SZ}$  wynikający z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku szyjnym kręgosłupa oceniany jest pod kątem następujących kryteriów:

- kąt zgięcia szyjnego odcinka kręgosłupa (K4),
- kąt zgięcia bocznego szyjnego odcinka kręgosłupa (K5),
- kąt rotacji szyjnego odcinka kręgosłupa (K6).

Wpływ poszczególnych zmiennych wejściowych (kątów w odcinku szyjnym kręgosłupa) na poziom wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_SZ}$  pokazano w tabeli 25.

Tabela 25. Wpływ poszczególnych kątów w szyjnym odcinku kręgosłupa na poziom wskaźnika dyskomfortu ( $WDK_{MM\_SZ}$ )

| Lp. | Kąt zgięcia szyjnego odcinka kręgosłupa K4 | Kąt zgięcia bocznego szyjnego odcinka kręgosłupa K5 | Kąt rotacji szyjnego odcinka kręgosłupa K6 | $WDK_{MM\_SZ}$  |
|-----|--|---|--|-----------------|
| 1   | mały                                       | mały  | mały                                       | bardzo dobry    |
| 2   | mały                                       | mały  | średni                                     | bardzo dobry    |
| 3   | mały                                       | mały  | duży                                       | dobry           |
| 4   | mały                                       | średni  | mały                                       | bardzo dobry    |
| 5   | mały                                       | średni  | średni                                     | bardzo dobry    |
| 6   | mały                                       | średni  | duży                                       | dobry           |
| 7   | mały                                       | duży  | mały                                       | bardzo dobry    |
| 8   | mały                                       | duży  | średni                                     | dobry           |
| 9   | mały                                       | duży  | duży                                       | dopuszczalny    |
| 10  | średni                                     | mały  | mały                                       | bardzo dobry    |
| 11  | średni                                     | mały  | średni                                     | dobry           |
| 12  | średni                                     | mały  | duży                                       | dopuszczalna    |
| 13  | średni                                     | średni  | mały                                       | bardzo dobry    |
| 14  | średni                                     | średni  | średni                                     | dobry           |
| 15  | średni                                     | średni  | duży                                       | dopuszczalny    |
| 16  | średni                                     | duży  | mały                                       | dopuszczalny    |
| 17  | średni                                     | duży  | średni                                     | dopuszczalny    |
| 18  | średni                                     | duży  | duży                                       | niedopuszczalny |
| 19  | duży                                       | mały  | mały                                       | dobry           |
| 20  | duży                                       | mały  | średni                                     | dopuszczalny    |
| 21  | duży                                       | mały  | duży                                       | niedopuszczalny |
| 22  | duży                                       | średni  | mały                                       | dopuszczalny    |

|    |      |        |        |                 |
|----|------|--------|--------|-----------------|
| 23 | duży | średni | średni | dopuszczalny    |
| 24 | duży | średni | duży   | niedopuszczalny |
| 25 | duży | duży   | mały   | niedopuszczalny |
| 26 | duży | duży   | średni | niedopuszczalny |
| 27 | duży | duży   | duży   | niedopuszczalny |

Sformułowane zależności w powyższej tabeli były podstawą budowy modelu lingwistycznego  $WDK_{MM\_SZ}$ .

### Submodel $WDK_{MM\_P}$

Wskaźnik dyskomfortu  $WDK_{M\_P}$  wynikający z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku piersiowym kręgosłupa oceniany jest pod kątem następujących kryteriów:

- kąt rotacji piersiowego odcinka kręgosłupa (K7),
- kąt zgięcia piersiowego odcinka kręgosłupa (K8),
- kąt zgięcia boczno-piersiowego odcinka kręgosłupa (K9).

Wpływ poszczególnych zmiennych wejściowych (kątów w odcinku piersiowym kręgosłupa) na poziom wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_P}$  pokazano w tabeli 26.

Tabela 26. Wpływ poszczególnych kątów w odcinku piersiowym kręgosłupa na poziom wskaźnika dyskomfortu ( $WDK_{MM\_P}$ )

| Lp. | Kąt rotacji piersiowego odcinka kręgosłupa K7 | Kąt zgięcia piersiowego odcinka kręgosłupa K8 | Kąt zgięcia boczno-piersiowego odcinka kręgosłupa K9 | $WDK_{MM\_P}$   |
|-----|---|---|--|-----------------|
| 1   | mały  | mały  | mały   | bardzo dobry    |
| 2   | mały  | mały  | średni   | bardzo dobry    |
| 3   | mały  | mały  | duży   | bardzo dobry    |
| 4   | mały  | średni  | mały   | bardzo dobry    |
| 5   | mały  | średni  | średni   | bardzo dobry    |
| 6   | mały  | średni  | duży   | dobry           |
| 7   | mały  | duży  | mały   | dobry           |
| 8   | mały  | duży  | średni   | dobry           |
| 9   | mały  | duży  | duży   | niedopuszczalny |
| 10  | średni  | mały  | mały   | bardzo dobry    |
| 11  | średni  | mały  | średni   | bardzo dobry    |
| 12  | średni  | mały  | duży   | dopuszczalny    |
| 13  | średni  | średni  | mały   | dobry           |
| 14  | średni  | średni  | średni   | dobry           |
| 15  | średni  | średni  | duży   | dobry           |

|    |        |        |        |                 |
|----|--------|--------|--------|-----------------|
| 16 | średni | duży   | mały   | dopuszczalny    |
| 17 | średni | duży   | średni | dopuszczalny    |
| 18 | średni | duży   | duży   | niedopuszczalny |
| 19 | duży   | mały   | mały   | dobry           |
| 20 | duży   | mały   | średni | dopuszczalny    |
| 21 | duży   | mały   | duży   | niedopuszczalny |
| 22 | duży   | średni | mały   | dopuszczalny    |
| 23 | duży   | średni | średni | dopuszczalny    |
| 24 | duży   | średni | duży   | niedopuszczalny |
| 25 | duży   | duży   | mały   | niedopuszczalny |
| 26 | duży   | duży   | średni | niedopuszczalny |
| 27 | duży   | duży   | duży   | niedopuszczalny |

Sformułowane zależności w powyższej tabeli były podstawą budowy modelu lingwistycznego  $WDK_{MM\_P}$ .

### Model wskaźnika dyskomfortu $WDK_{MM}$

Wpływ poszczególnych zmiennych wejściowych (tzn. wskaźników dyskomfortu:  $WDK_{MM\_B}$ ,  $WDK_{MM\_SZ}$ ,  $WDK_{MM\_P}$ ) na poziom wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_P}$  pokazano w tabeli 27.

Tabela 27. Wpływ poszczególnych wskaźników dyskomfortu:  $WDK_{MM\_B}$ ,  $WDK_{MM\_SZ}$ ,  $WDK_{MM\_P}$  na poziom wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM}$

| Lp. | $WDK_{MM\_B}$   | $WDK_{MM\_SZ}$  | $WDK_{MM\_P}$   | $WDK_{MM}$      |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1   | niedopuszczalna | niedopuszczalna | niedopuszczalna | niedopuszczalny |
| 2   | niedopuszczalna | niedopuszczalna | dopuszczalna    | niedopuszczalny |
| 3   | niedopuszczalna | niedopuszczalna | dobra           | dopuszczalny    |
| 4   | niedopuszczalna | niedopuszczalna | bardzo dobra    | dopuszczalny    |
| 5   | niedopuszczalna | dopuszczalna    | niedopuszczalna | niedopuszczalny |
| 6   | niedopuszczalna | dopuszczalna    | dopuszczalna    | niedopuszczalny |
| 7   | niedopuszczalna | dopuszczalna    | dobra           | dopuszczalny    |
| 8   | niedopuszczalna | dopuszczalna    | bardzo dobra    | dobry           |
| 9   | niedopuszczalna | dobra           | niedopuszczalna | niedopuszczalny |
| 10  | niedopuszczalna | dobra           | dopuszczalna    | dopuszczalny    |
| 11  | niedopuszczalna | dobra           | dobra           | dopuszczalny    |
| 12  | niedopuszczalna | dobra           | bardzo dobra    | dobry           |
| 13  | niedopuszczalna | bardzo dobra    | niedopuszczalna | niedopuszczalny |
| 14  | niedopuszczalna | bardzo dobra    | dopuszczalna    | dopuszczalny    |
| 15  | niedopuszczalna | bardzo dobra    | dobra           | dobry           |
| 16  | niedopuszczalna | bardzo dobra    | bardzo dobra    | dobry           |
| 17  | dopuszczalna    | niedopuszczalna | niedopuszczalna | niedopuszczalny |
| 18  | dopuszczalna    | niedopuszczalna | dopuszczalna    | dopuszczalny    |
| 19  | dopuszczalna    | niedopuszczalna | dobra           | dopuszczalny    |

|    |              |                 |                 |                 |
|----|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 20 | dopuszczalna | niedopuszczalna | bardzo dobra    | dopuszczalny    |
| 21 | dopuszczalna | dopuszczalna    | niedopuszczalna | niedopuszczalny |
| 22 | dopuszczalna | dopuszczalna    | dopuszczalna    | dopuszczalny    |
| 23 | dopuszczalna | dopuszczalna    | dobra           | dobry           |
| 24 | dopuszczalna | dopuszczalna    | bardzo dobra    | dobry           |
| 25 | dopuszczalna | dobra           | niedopuszczalna | dopuszczalny    |
| 26 | dopuszczalna | dobra           | dopuszczalna    | dopuszczalny    |
| 27 | dopuszczalna | dobra           | dobra           | dobry           |
| 28 | dopuszczalna | dobra           | bardzo dobra    | dobry           |
| 29 | dopuszczalna | bardzo dobra    | niedopuszczalna | dopuszczalny    |
| 30 | dopuszczalna | bardzo dobra    | dopuszczalna    | dopuszczalny    |
| 31 | dopuszczalna | bardzo dobra    | dobra           | dobry           |
| 32 | dopuszczalna | bardzo dobra    | bardzo dobra    | bardzo dobry    |
| 33 | dobra        | niedopuszczalna | niedopuszczalna | niedopuszczalny |
| 34 | dobra        | niedopuszczalna | dopuszczalna    | dopuszczalny    |
| 35 | dobra        | niedopuszczalna | dobra           | dobry           |
| 36 | dobra        | niedopuszczalna | bardzo dobra    | dobry           |
| 37 | dobra        | dopuszczalna    | niedopuszczalna | dopuszczalny    |
| 38 | dobra        | dopuszczalna    | dopuszczalna    | dobry           |
| 39 | dobra        | dopuszczalna    | dobra           | dobry           |
| 40 | dobra        | dopuszczalna    | bardzo dobra    | bardzo dobry    |
| 41 | dobra        | dobra           | niedopuszczalna | dopuszczalny    |
| 42 | dobra        | dobra           | dopuszczalna    | dobry           |
| 43 | dobra        | dobra           | dobra           | dobry           |
| 44 | dobra        | dobra           | bardzo dobra    | bardzo dobry    |
| 45 | dobra        | bardzo dobra    | niedopuszczalna | dopuszczalny    |
| 46 | dobra        | bardzo dobra    | dopuszczalna    | dobry           |
| 47 | dobra        | bardzo dobra    | dobra           | bardzo dobry    |
| 48 | dobra        | bardzo dobra    | bardzo dobra    | bardzo dobry    |
| 49 | bardzo dobra | niedopuszczalna | niedopuszczalna | Dopuszczalny    |
| 50 | bardzo dobra | niedopuszczalna | dopuszczalna    | dobry           |
| 51 | bardzo dobra | niedopuszczalna | dobra           | dobry           |
| 52 | bardzo dobra | niedopuszczalna | bardzo dobra    | bardzo dobry    |
| 53 | bardzo dobra | dopuszczalna    | niedopuszczalna | dopuszczalny    |
| 54 | bardzo dobra | dopuszczalna    | dopuszczalna    | dobry           |
| 55 | bardzo dobra | dopuszczalna    | dobra           | dobry           |
| 56 | bardzo dobra | dopuszczalna    | bardzo dobra    | bardzo dobry    |
| 57 | bardzo dobra | dobra           | niedopuszczalna | dopuszczalny    |
| 58 | bardzo dobra | dobra           | dopuszczalna    | dobry           |
| 59 | bardzo dobra | dobra           | dobra           | bardzo dobry    |
| 60 | bardzo dobra | dobra           | bardzo dobra    | bardzo dobry    |
| 61 | bardzo dobra | bardzo dobra    | niedopuszczalna | dopuszczalny    |

|    |              |              |              |              |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 62 | bardzo dobra | bardzo dobra | dopuszczalna | dobry        |
| 63 | bardzo dobra | bardzo dobra | dobra        | bardzo dobry |
| 64 | bardzo dobra | bardzo dobra | bardzo dobra | bardzo dobry |

Sformułowane zależności w powyższej tabeli były podstawą budowy modelu lingwistycznego  $WDK_{MM}$ .

### 7.3.3. Model Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu (ZWDK):

Zgodnie z rys. 35 zmiennymi wejściowymi modelu rozmytego oceny całkowitego dyskomfortu wyrażonego za pomocą zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu są:

- wskaźnik  $WDK_{EMG}$  wynikający z napięcia mięśniowego,
- wskaźnik  $WDK_{MM}$  wynikający z przekroczenia zakresów kątowych w stawach przyjętych za „normalne”,
- czas trwania procedury (T),
- częstość występowania procedury (CZ).

W tabeli 28 przedstawiono wpływ poszczególnych zmiennych wejściowych na dyskomfortu, czyli na poziom zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu.

Tabela 28. Poziomy zmiennych wejściowych modelu zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu.

| Lp. | Zmienna wejściowa   | Symbol      | Poziom zmiennej wejściowej |       |              |                 |
|-----|---|-------------|----------------------------|-------|--------------|-----------------|
|     |   |             | Wartość z zakresu <0, 1>   |       |              |                 |
|     |   |             | 0                          | 0,25  | 0,5          | 1               |
| 1.  | Wskaźnik dyskomfortu wynikający z napięcia mięśniowego                      | $WDK_{EMG}$ | bardzo dobry               | dobry | dopuszczalny | niedopuszczalny |
| 2.  | Wskaźnik dyskomfortu wynikający z przekroczenia zakresów kątowych w stawach | $WDK_{MM}$  | bardzo dobry               | dobry | dopuszczalny | niedopuszczalny |
| 3.  | Czas trwania procedury  | T           | krótki                     | -     | średni       | długi           |
| 4.  | Częstość występowania procedury w trakcie dyżuru                            | CZ          | mała                       | -     | średnia      | duża            |



Ocenę końcową wskaźnika ZWDK nadawano wg skali poziomów przedstawionych w Tabeli 29.

Tabela 29. Skala ocen Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK

| <b>Ocena ZWDK</b> |                         |
|-------------------|-------------------------|
| <b>liczbowa</b>   | <b>słowna</b>           |
| 1                 | bardzo dobra            |
| 1,5               | więcej niż dobra        |
| 2                 | dobra                   |
| 2,5               | więcej niż dopuszczalna |
| 3                 | dopuszczalna            |
| 3,5               | mniej niż dopuszczalna  |
| 4                 | niedopuszczalna         |

W tabeli 30 przedstawiono wpływ wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{EMG}$ ,  $WDK_{MM}$ , czasu trwania procedury i częstości występowania procedury w ciągu roku na wartość oceny ZWDK (przedstawiono fragment zależności, pełna tabela znajduje się w załączniku 3).

Tabela 30. Wpływ zmiennych wejściowych modelu na wartość oceny ZWDK

| <b>Lp.</b> | <b>Poziom wskaźnika dyskomfortu <math>WDK_{EKG}</math></b> | <b>Poziom wskaźnika dyskomfortu <math>WDK_{MM}</math></b> | <b>Czas trwania procedury</b> | <b>Częstość występowania w trakcie dyżuru</b> | <b>Ocena ZWDK</b>      |
|------------|--|---|-------------------------------|---|------------------------|
| 1.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | długi                         | duża  | niedopuszczalna        |
| 2.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | długi                         | średnia                                       | niedopuszczalna        |
| 3.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | długi                         | mała  | mniej niż dopuszczalna |
| 4.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | średni                        | duża  | niedopuszczalna        |
| 5.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | średni                        | średnia                                       | mniej niż dopuszczalna |
| 6.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | średni                        | mała  | mniej niż dopuszczalna |
| 7.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | krótki                        | duża  | niedopuszczalna        |
| 8.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | krótki                        | średnia                                       | niedopuszczalna        |
| 9.         | niedopuszczalna  | niedopuszczalna   | krótki                        | mała  | mniej niż dopuszczalna |
| 10.        | niedopuszczalna  | dopuszczalna  | długi                         | duża  | niedopuszczalna        |
| 11.        | niedopuszczalna  | dopuszczalna  | długi                         | średnia                                       | mniej niż dopuszczalna |
| 12.        | niedopuszczalna  | dopuszczalna  | długi                         | mała  | mniej niż dopuszczalna |
| 13.        | niedopuszczalna  | dopuszczalna  | średni                        | duża  | niedopuszczalna        |
| 14.        | niedopuszczalna  | dopuszczalna  | średni                        | średnia                                       | niedopuszczalna        |

.....

Sformułowane zależności w powyższej tabeli były podstawą budowy modelu lingwistycznego ZWDK.

#### 7.4. Budowa modeli rozmytych i ich implementacja numeryczna

Opisany w podrozdziale 7.3 model heurystyczny Mamdaniego zaimplementowano numerycznie w środowisku Matlab\_Simulink ver. R2023b.

Ze względu na złożoną budowę modelu zdekomponowano go na submodele do symulacji:

- wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{EMG}$ ,
- wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM}$  (w tym submodelu zostały wyodrębnione podmodele:
  - wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_B}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w stawie biodrowym,
  - wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{MM\_SZ}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku szyjnym kręgosłupa,
  - wskaźnika dyskomfortu  $WDK_{M\_P}$  wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w odcinku piersiowym kręgosłupa.

Model zawiera 6 struktur Mamdaniego, które określono zgodnie z modelami lingwistycznymi przedstawionymi w rozdziale 7.3.

Model Mamdaniego charakteryzują następujące elementy:

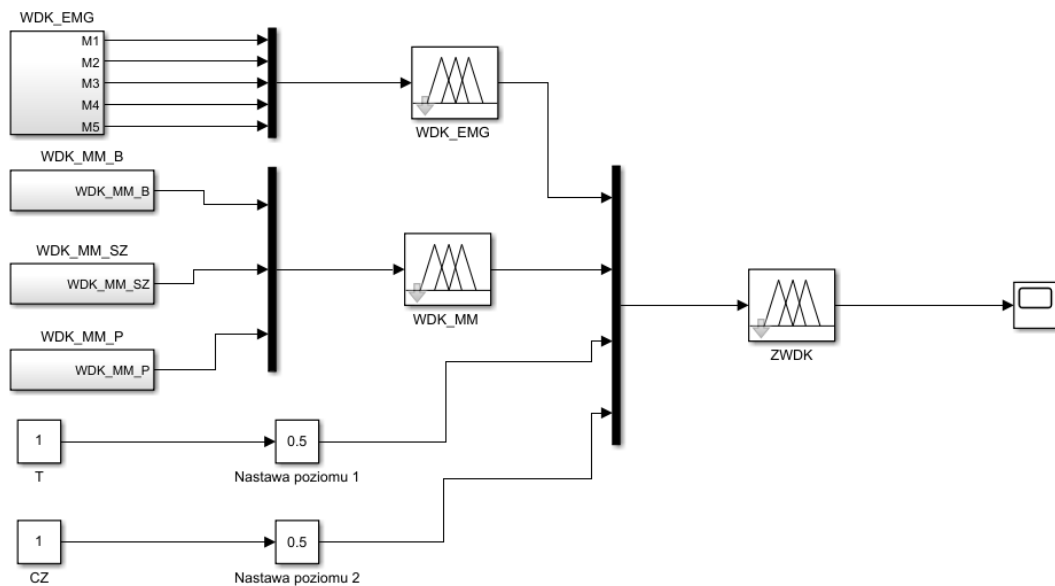
- zmienne wejściowe i wyjściowe,
- liczba kwantyzacji zmiennych wejściowych wraz z charakterystykami funkcji przynależności,
- reguły implikacyjne,
- poziomy zmiennych wyjściowych.

W modelowaniu z wykorzystaniem struktur rozmytych jako funkcje przynależności przyjęto krzywe gaussowskie. Mogą one być modyfikowane i dostrajane w procesie weryfikacji modelu. Przykładową postać modelu lingwistycznego zastosowaną do symulacji pokazano na rys. 36.

1. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is małe) and (M5 is małe) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
2. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is małe) and (M5 is średnie) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
3. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is małe) and (M5 is duże) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
4. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is średnie) and (M5 is małe) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
5. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is średnie) and (M5 is średnie) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
6. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is średnie) and (M5 is duże) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
7. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is duże) and (M5 is małe) then (WDK\_EMG is dobra) (1)
8. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is duże) and (M5 is średnie) then (WDK\_EMG is dobra) (1)
9. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is małe) and (M4 is duże) and (M5 is duże) then (WDK\_EMG is dopuszczalna) (1)
10. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is małe) and (M5 is małe) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
11. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is małe) and (M5 is średnie) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
12. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is małe) and (M5 is duże) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
13. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is średnie) and (M5 is małe) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
14. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is średnie) and (M5 is średnie) then (WDK\_EMG is bardzo\_dobra) (1)
15. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is średnie) and (M5 is duże) then (WDK\_EMG is dobra) (1)
16. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is duże) and (M5 is małe) then (WDK\_EMG is dobra) (1)
17. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is duże) and (M5 is średnie) then (WDK\_EMG is dopuszczalna) (1)
18. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is średnie) and (M4 is duże) and (M5 is duże) then (WDK\_EMG is dopuszczalna) (1)
19. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is duże) and (M4 is małe) and (M5 is małe) then (WDK\_EMG is dobra) (1)
20. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is duże) and (M4 is małe) and (M5 is średnie) then (WDK\_EMG is dobra) (1)
21. If (M1 is małe) and (M2 is małe) and (M3 is duże) and (M4 is małe) and (M5 is duże) then (WDK\_EMG is dopuszczalna) (1)

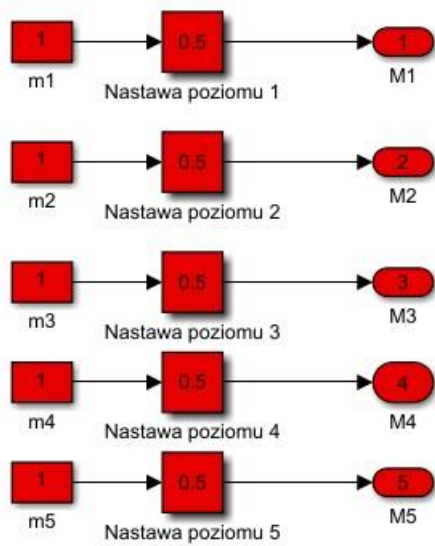
Rys. 36. Postać implikacji dla submodelu określającego WDK<sub>EMG</sub>

Ogólną strukturę modelu do oceny Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK, będącą zarazem strukturą symulacyjną w środowisku Simulink przedstawia rys. 37.

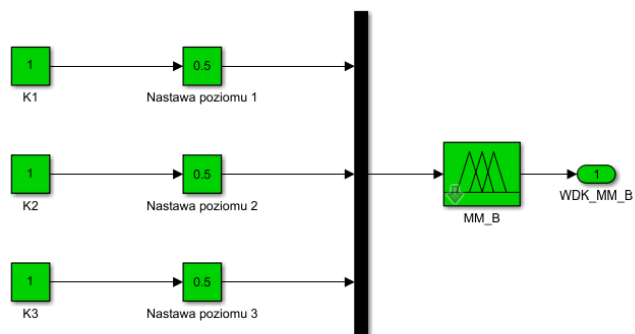


Rys. 37. Model heurystyczny Mamdaniego zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu - ZWDK

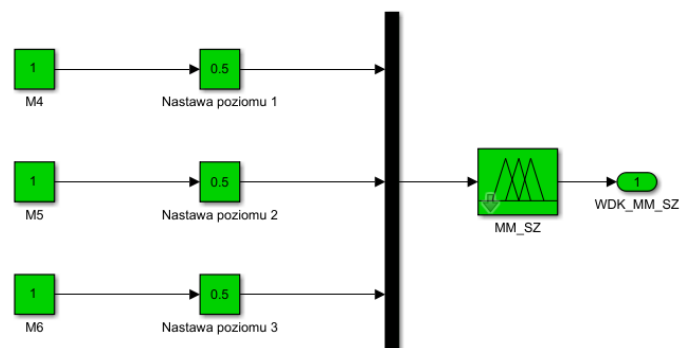
Na rys. 38 – 41 pokazano odpowiednie składowe wejściowe dla modeli lingwistycznych, wykorzystywanych do symulacji poszczególnych wskaźników dyskomfortu.



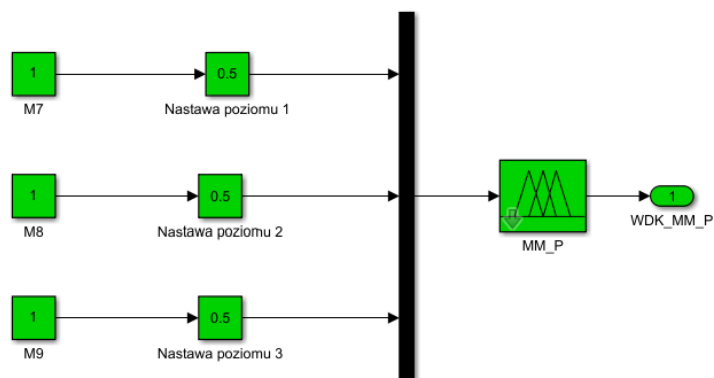
Rys. 38. Składowe wejściowe dla submodelu wykorzystanego do symulacji  $WDK_{EMG}$



Rys. 39. Składowe wejściowe dla podmodelu wykorzystanego do symulacji  $WDK_{MM\_B}$

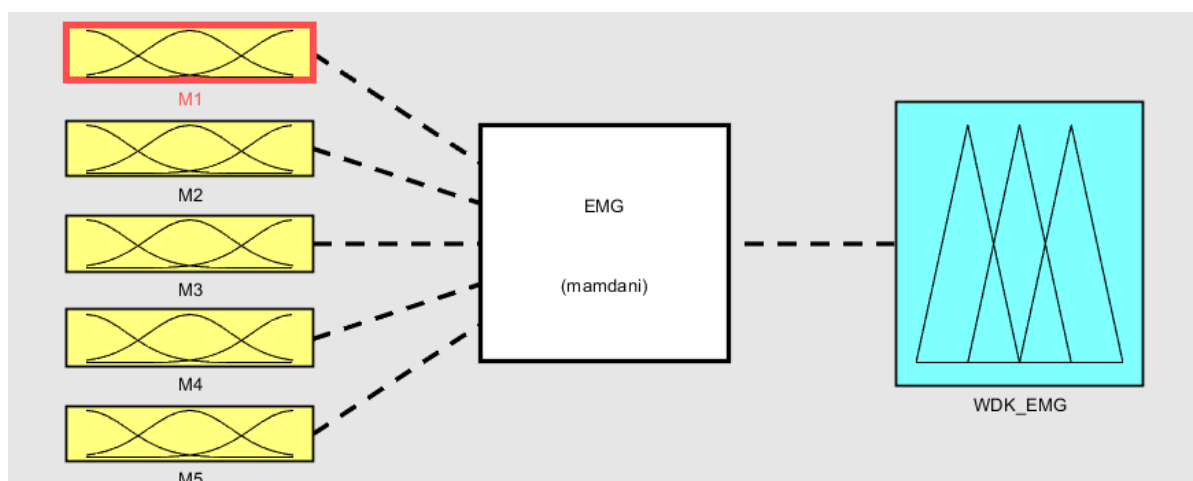


Rys. 40. Składowe wejściowe dla podmodelu wykorzystanego do symulacji  $WDK_{MM\_SZ}$

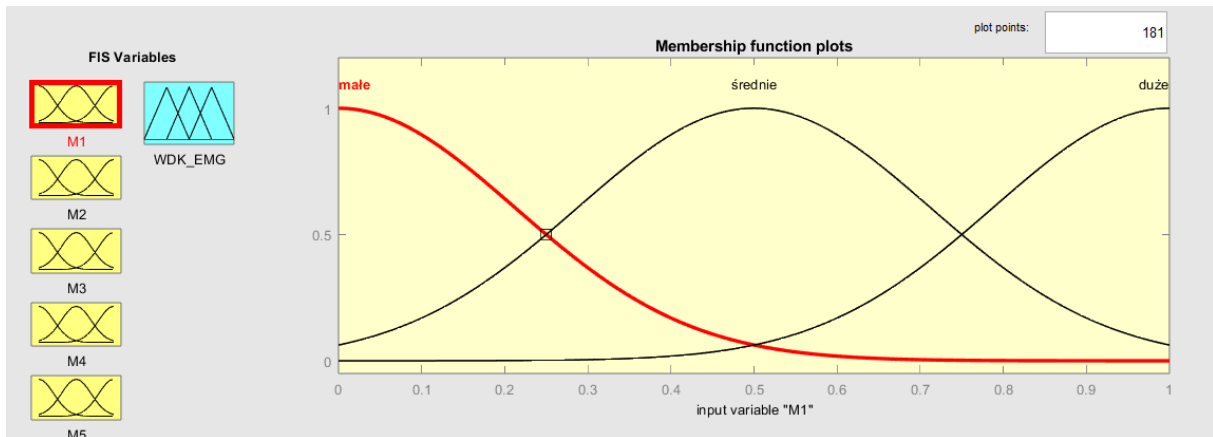


Rys. 41. Składowe wejściowe dla podmodelu wykorzystanego do symulacji  $WDK_{MM\_P}$

Na rys. 42. Przedstawiono submodel do symulacji wskaźnika dyskomfortu wynikającego z nadmiernego napięcia mięśniowego  $WDK_{EMG}$ . W przypadku każdej zmiennej wejściowej przyjęto trzy poziomy kwantyfikacji. Funkcje przynależności dla każdej zmiennej pokazano na rys. 43.

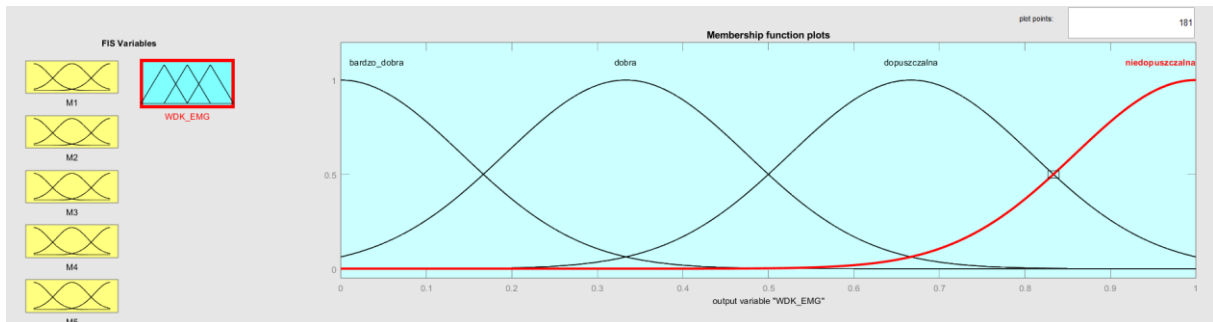


Rys. 42. Submodel do symulacji  $WDK_{EMG}$



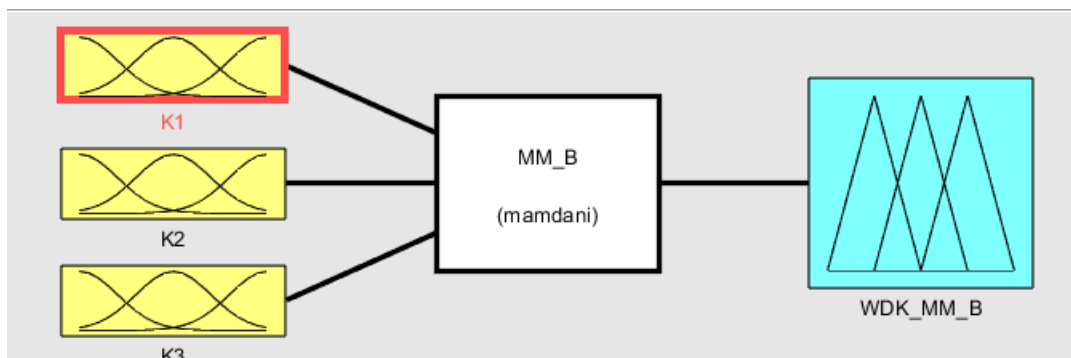
Rys. 43. Funkcje przynależności dla zmiennej M1

Analogiczne funkcje przyjęto dla pozostałych zmiennych wejściowych. Na rys. 44 przedstawiono poziomy WDK<sub>EMG</sub>. Wskaźnik ten jest skwantyfikowany czterema poziomami.

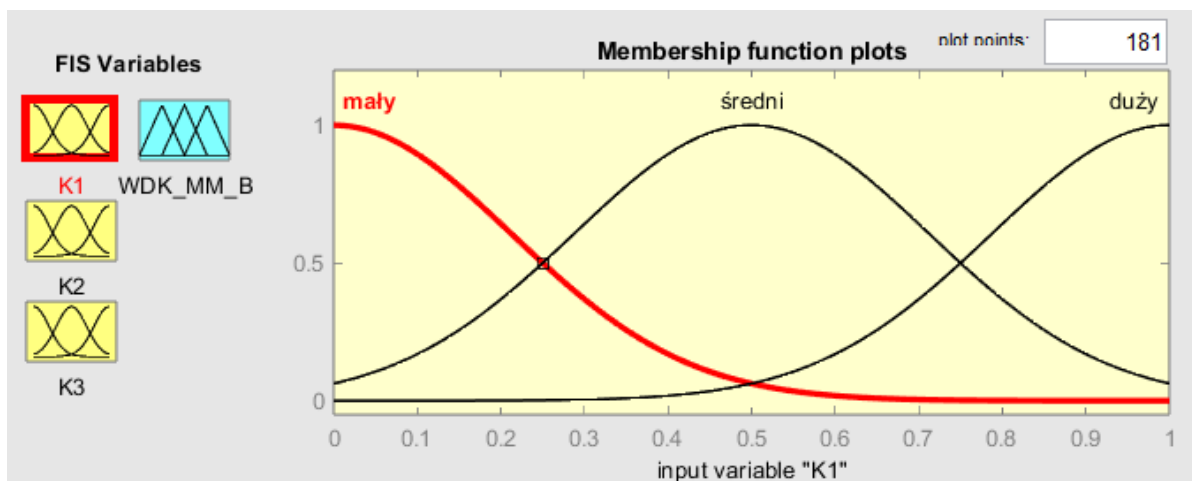


Rys. 44. Poziomy wskaźnika WDK<sub>EMG</sub>

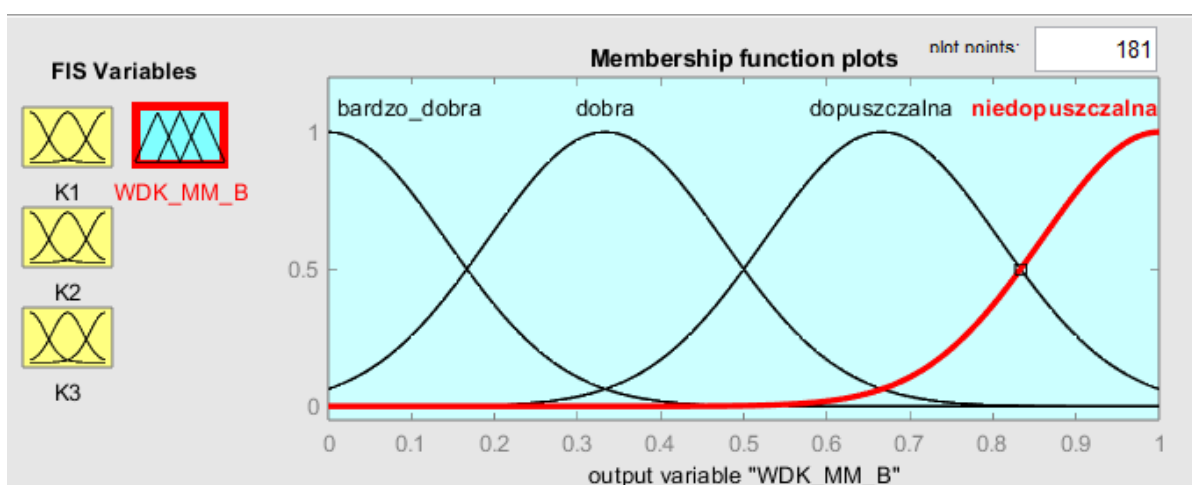
W submodelu Mamdaniego do symulacji wskaźnika dyskomfortu wynikającego z konieczności przekraczania zakresów kątowych w stawach, przyjętych za „normalne” uwzględniono trzy podmodele: wskaźnika dyskomfortu WDK<sub>MM\_B</sub>, wskaźnika dyskomfortu WDK<sub>MM\_SZ</sub>, wskaźnika dyskomfortu WDK<sub>M\_P</sub>. Rys. 45-47 przedstawiają odpowiednio podmodel Mamdaniego do symulacji WDK<sub>MM\_B</sub>, funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej K1 oraz poziomy wskaźnika WDK<sub>MM\_B</sub>.



Rys. 45. Podmodel Mamdaniego do symulacji WDK<sub>MM\_B</sub>

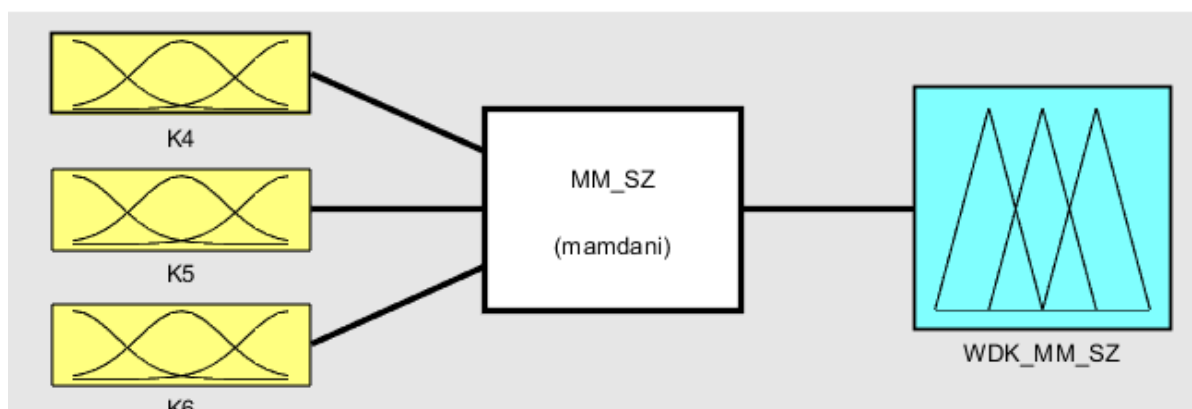


Rys. 46. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej K1

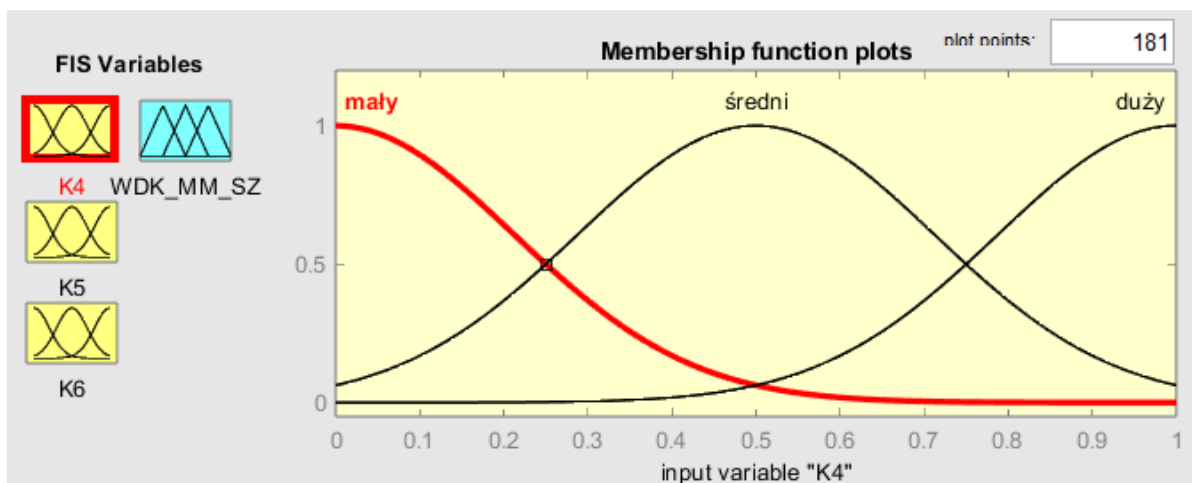


Rys. 47. Poziomy wskaźnika  $WDK_{MM\_B}$

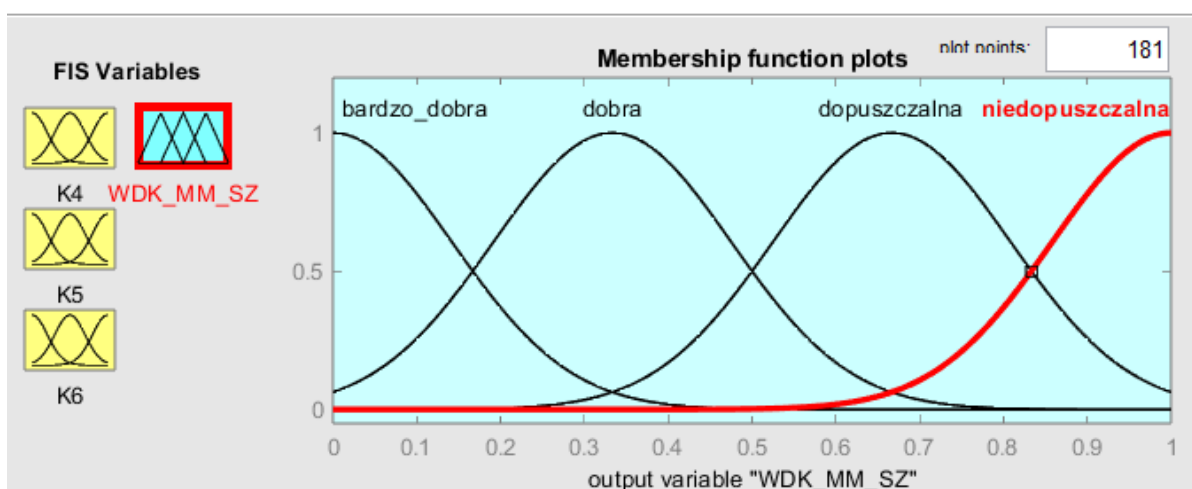
Analogicznie do symulacji wskaźnika  $WDK_{MM\_B}$  na rys. 48-56 przedstawiono własności modeli Mamdaniego dla symulacji wskaźników  $WDK_{MM\_SZ}$ ,  $WDK_{MM\_P}$  oraz  $WDK_{MM}$ .



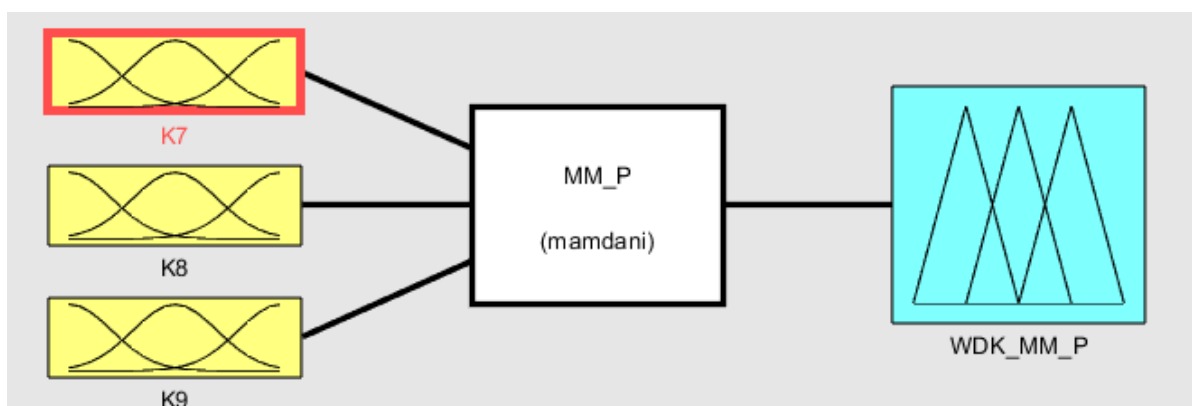
Rys. 48. Podmodel do symulacji  $WDK_{MM\_SZ}$



Rys. 49. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej K4

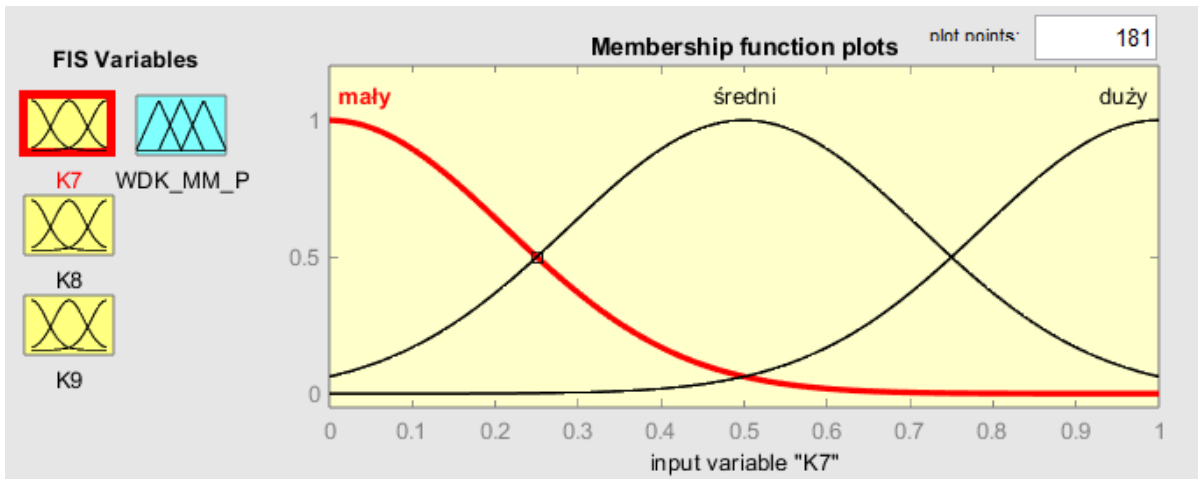


Rys. 50. Poziomy wskaźnika  $WDK_{MM\_SZ}$

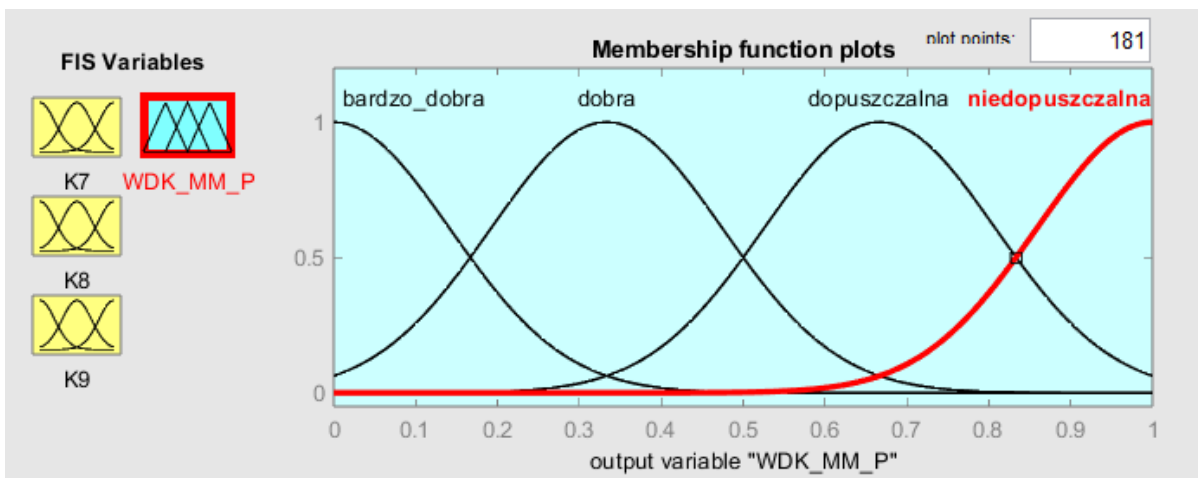


Rys. 51. Podmodel Mamdaniego do symulacji  $WDK_{MM\_P}$

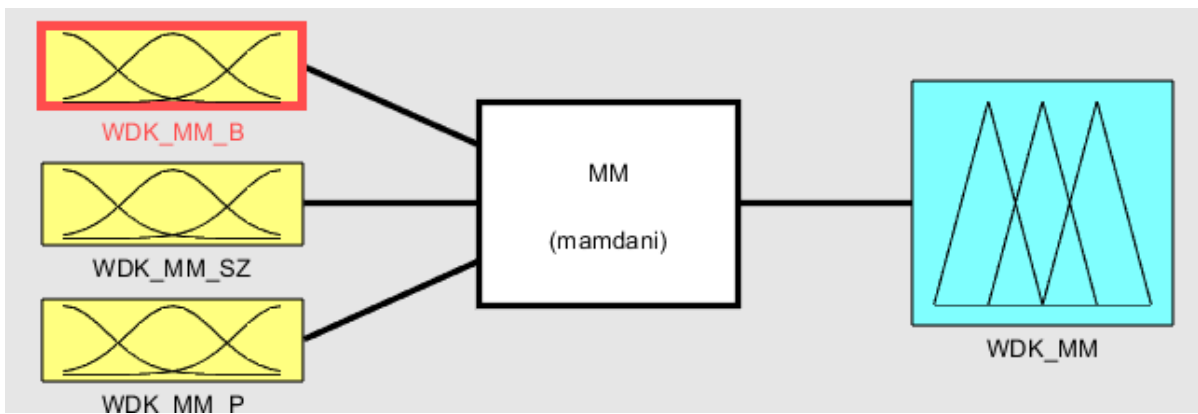




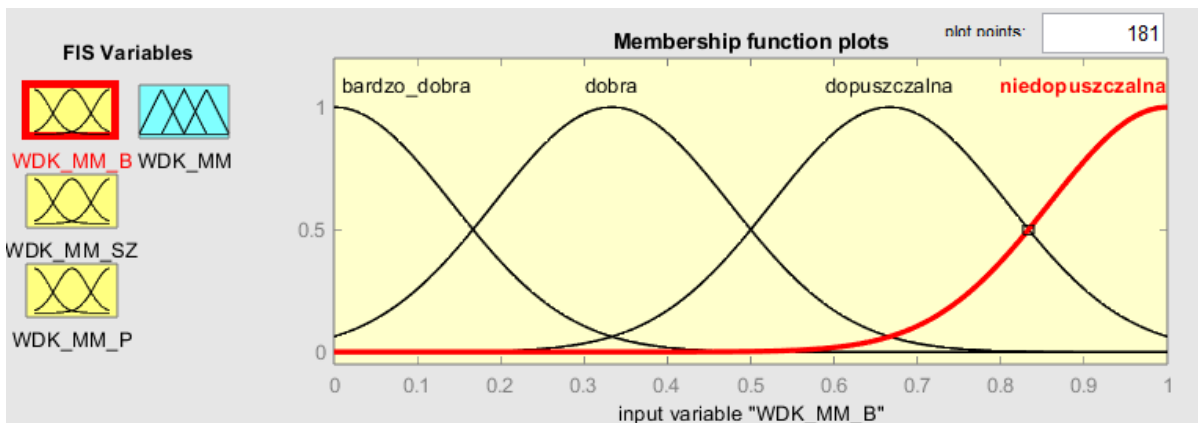
Rys. 52. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej K7



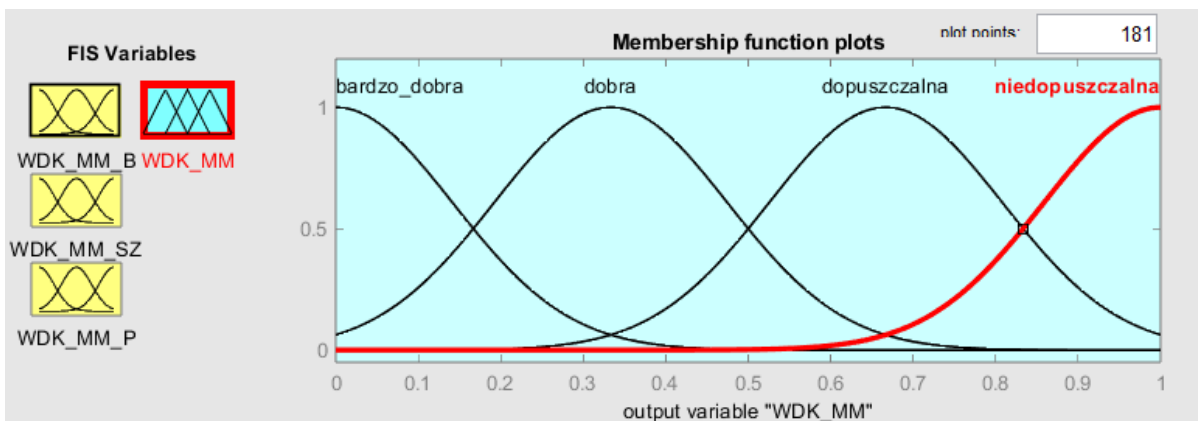
Rys. 53. Poziomy wskaźnika  $WDK_{MM,P}$



Rys. 54. Model Mamdaniego do symulacji wskaźnika  $WDK_{MM}$

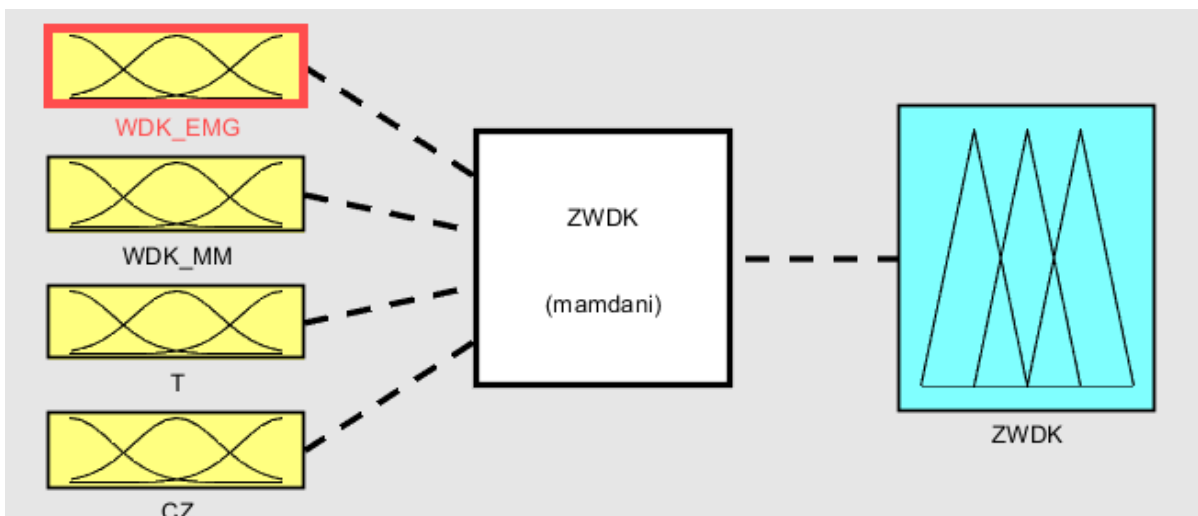


Rys. 55. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej  $WDK_{MM\_B}$



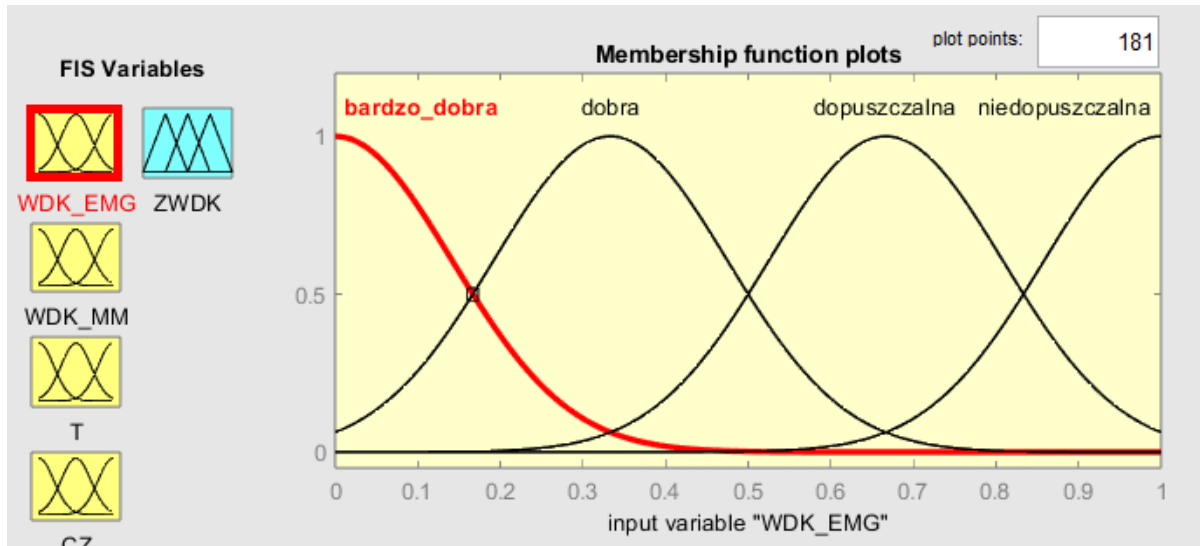
Rys. 56. Poziomy wskaźnika  $WDK_{MM}$

Omówione powyżej wskaźniki dyskomfortu uzyskiwane z modeli heurystycznych oraz dwie dodatkowe zmienne, czyli czas trwania procedury (T) i częstość występowania procedury (CZ) w trakcie dyżuru stanowią zmienne wejściowe modelu Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK. Zasada budowy modelu jest taka sama jak we wcześniej opisanych submodelach. Rys. 57 przedstawia model Mamdaniego do symulacji wskaźnika ZWDK.

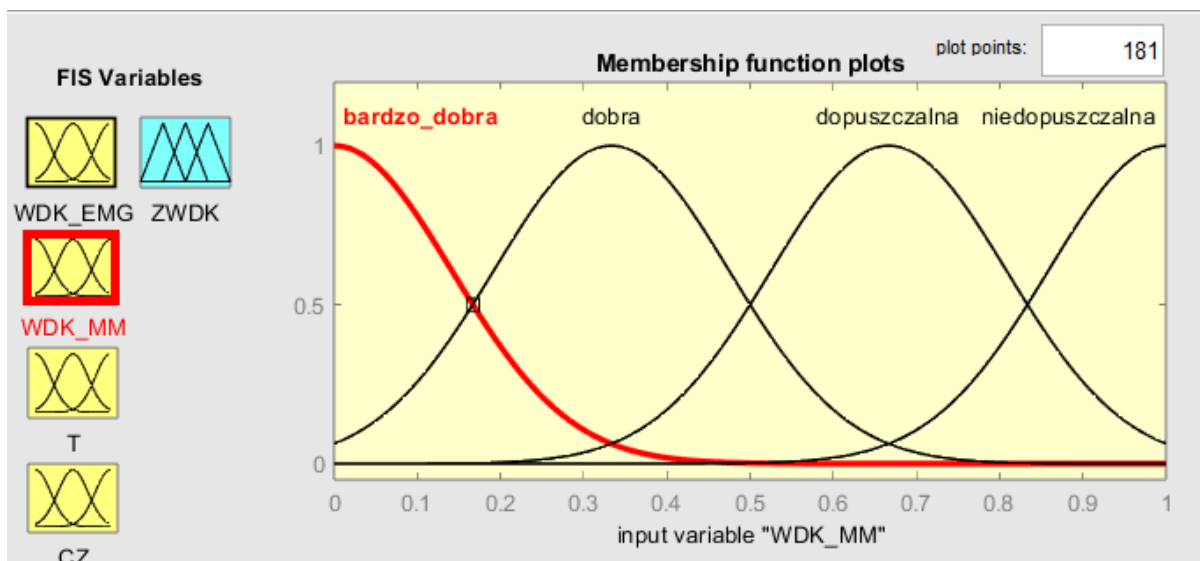


Rys. 57. Model Mamdaniego do symulacji wskaźnika ZWDK

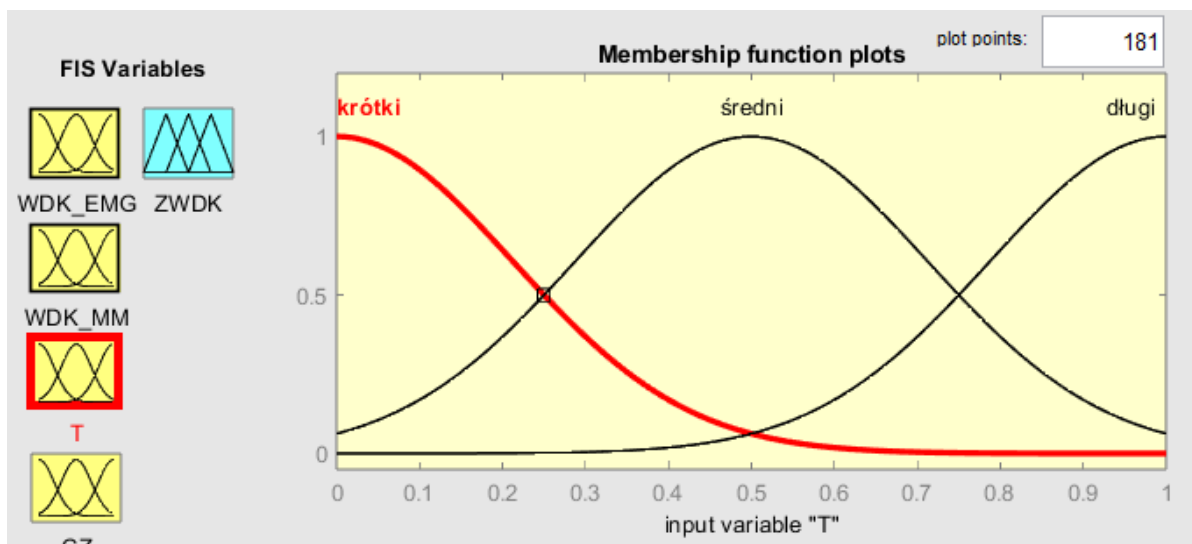
Rys. 58 ilustruje funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej  $WDK_{EMG}$  a rys. 59 – funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej  $WDK_{MM}$ . Kolejne dwa rys. 60 i 61 przedstawiają funkcje przynależności dla pozostałych dwóch zmiennych, które w przeciwieństwie do wspomnianych wskaźników dyskomfortu mają tylko po trzy funkcje przynależności, co odpowiada liczbie przyjętych stopni kwantyzacji.



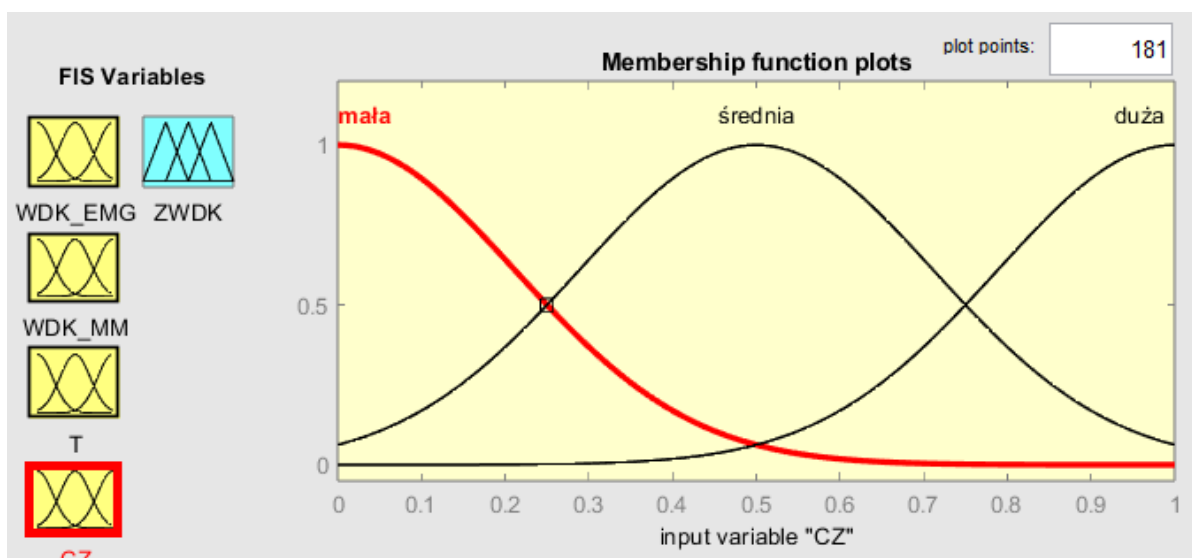
Rys. 58. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej  $WDK_{EMG}$



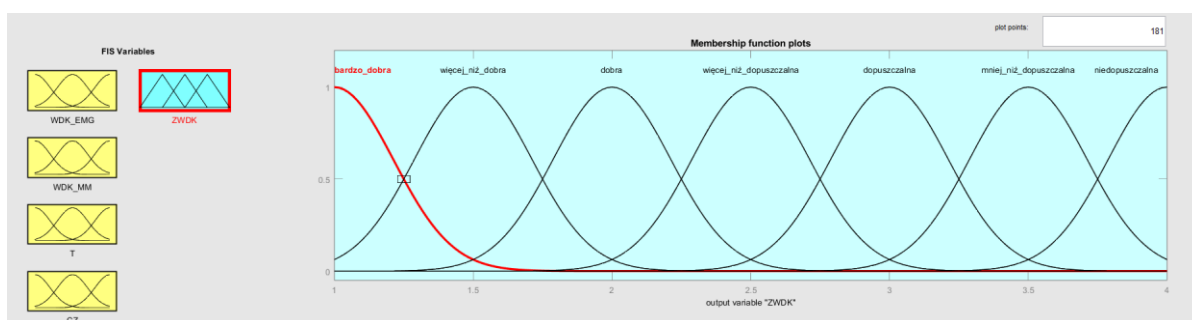
Rys. 59. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej  $WDK_{MM}$



Rys. 60. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej czas T



Rys. 61. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej częstość występowania procedur medycznych CZ

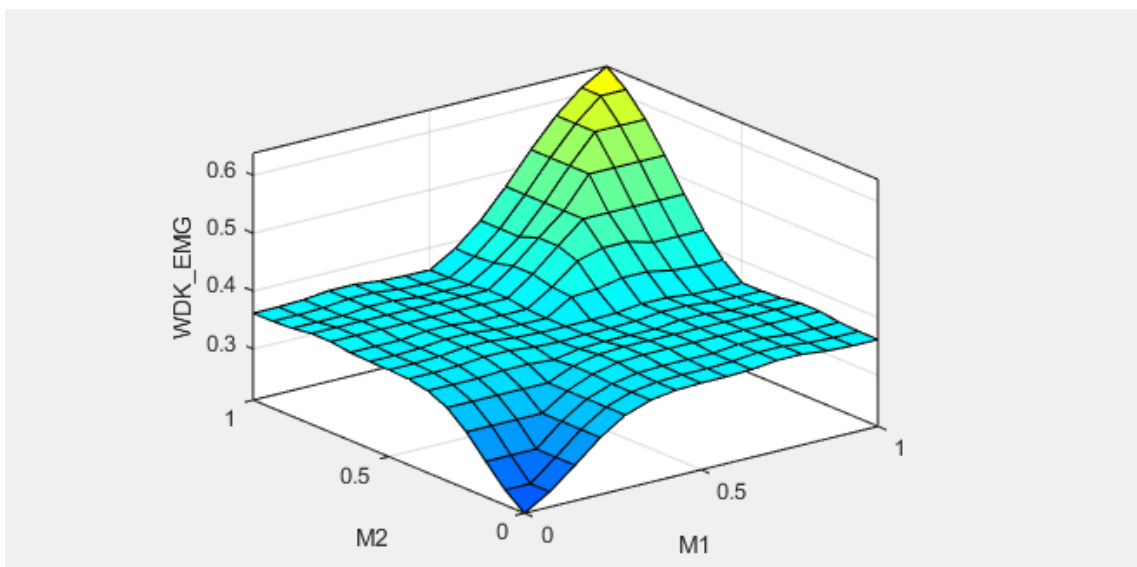


Rys. 62. Poziomy Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK

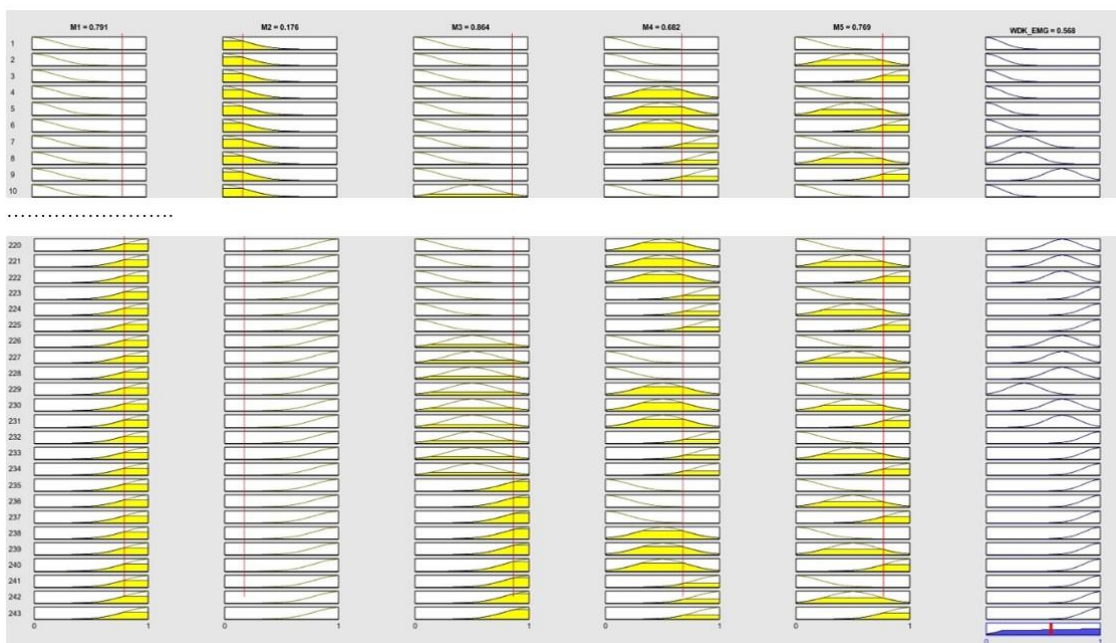
Rys. 62 ilustruje poziomy Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK.

## 7.5. Wyniki badań symulacyjnych

W niniejszym podrozdziale podano przykładowe wyniki symulacji poszczególnych wskaźników dyskomfortu jak również zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu ZWDK przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu Mamdaniego. Na rys. 63 przedstawiono wpływ zmiennych M1 (napięcia mięśnia prostownika grzbietu prawego) i M2 (napięcia mięśnia prostownika grzbietu lewego) na wskaźnik dyskomfortu  $WDK_{EMG}$ . Obydwie zmienne w podobny sposób wpływają na wskaźnik  $WDK_{EMG}$ .



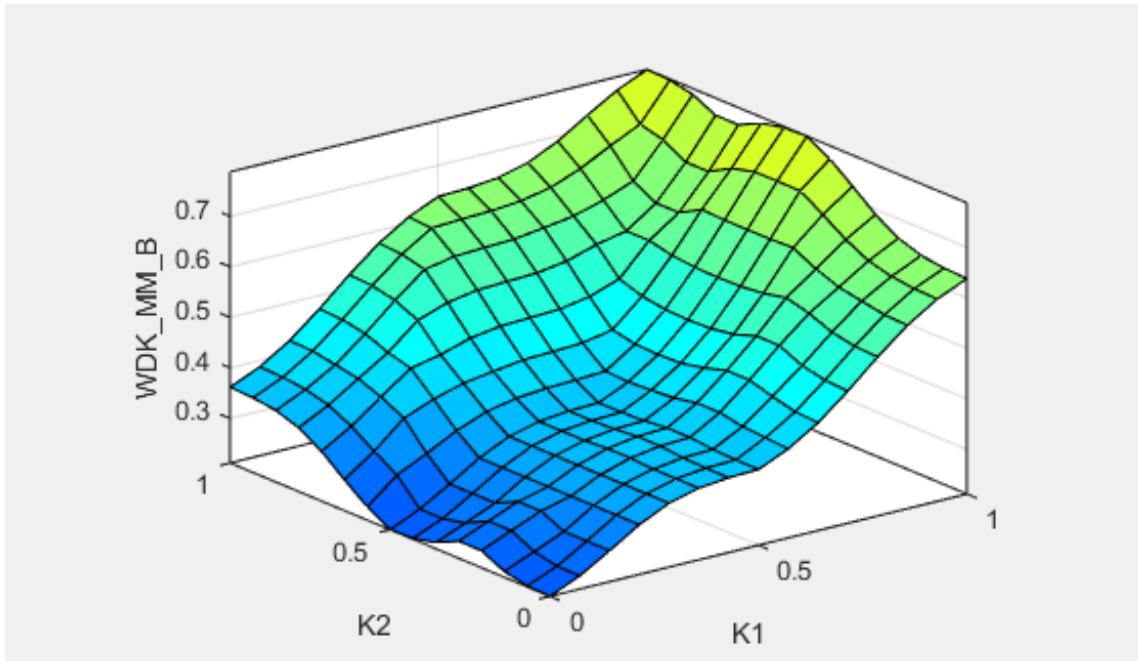
Rys. 63. Poziom wskaźnika  $WDK_{EMG}$  w funkcji napięcia mięśni M1 i M2



Rys. 64. Przykład wizualizacji reguł implikacyjnych (od 1 do 10 oraz od 220 do 243) dla symulacji  $WDK_{EMG}$

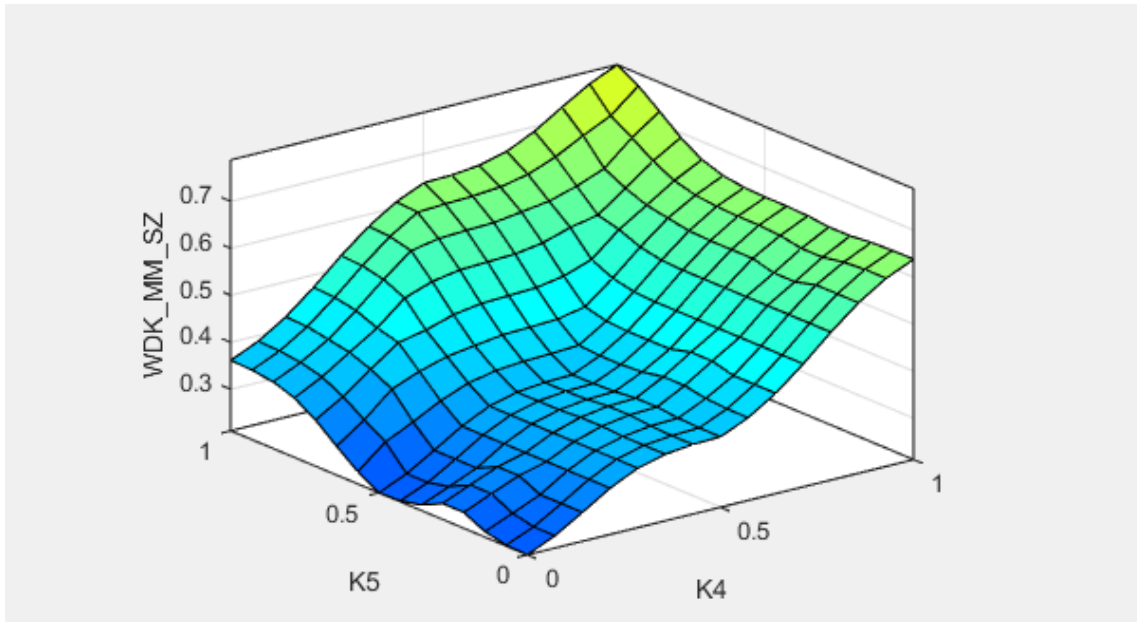
Rys.64 przedstawia fragment wizualizacji reguł implikacyjnych (od 1 do 10 oraz od 220 do 243) dla symulacji  $WDK_{EMG}$ . Podobne zależności można wygenerować dla pozostałych zmiennych: M3 – napięcia mięśnia prostownika części lędźwiowej prawego, M4 – napięcia mięśnia prostownika części lędźwiowej lewego, M5 – napięcie mięśnia szyjnego tylnego.

Na kolejnych rysunkach przedstawiono odpowiednio przykłady zależności:  $WDK_{MM\_B}$  od parametrów K1 i K2 (rys. 65),  $WDK_{MM\_SZ}$  od K4 i K5 (rys.66),  $WDK_{MM\_P}$  od K7 i K8 (rys.67).



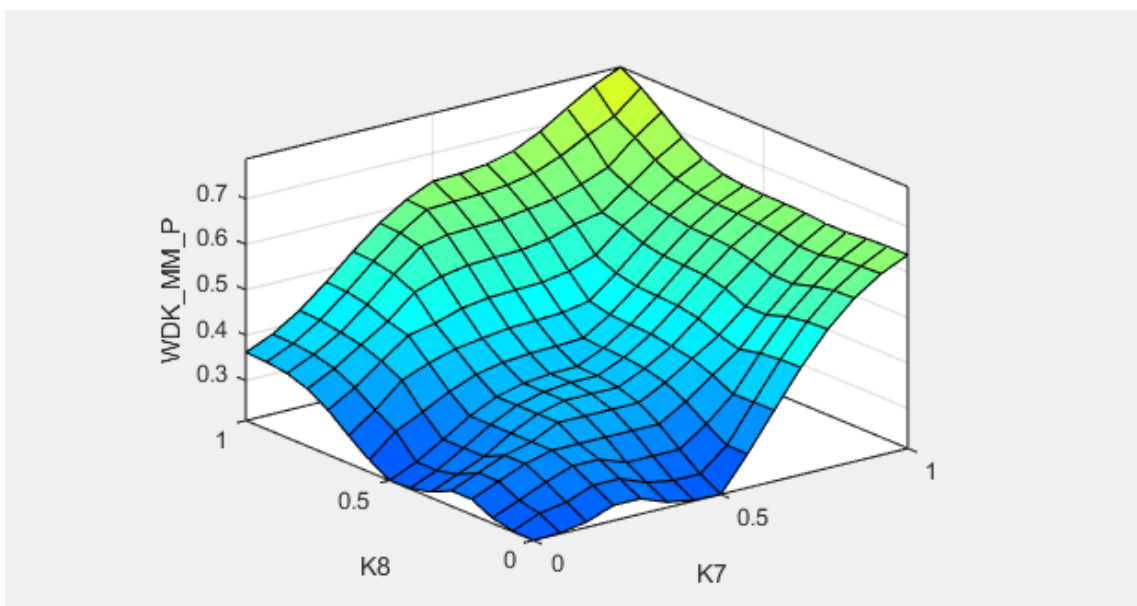
Rys. 65. Poziom wskaźnika  $WDK_{MM\_B}$  w funkcji kątów K1 i K2.

Kształt powierzchni świadczy o tym, że zmienna K1 (kąt zgięcia stawu biodrowego) w większym stopniu wpływa na poziom dyskomfortu wynikającego z przekroczenia zakresów kątowych przyjętych za „normalne” w stawie biodrowym niż zmienna K2 (kąt odwodzenia stawu biodrowego).



Rys. 66. Poziom wskaźnika  $WDK_{MM\_SZ}$  w funkcji kątów  $K4$  i  $K5$

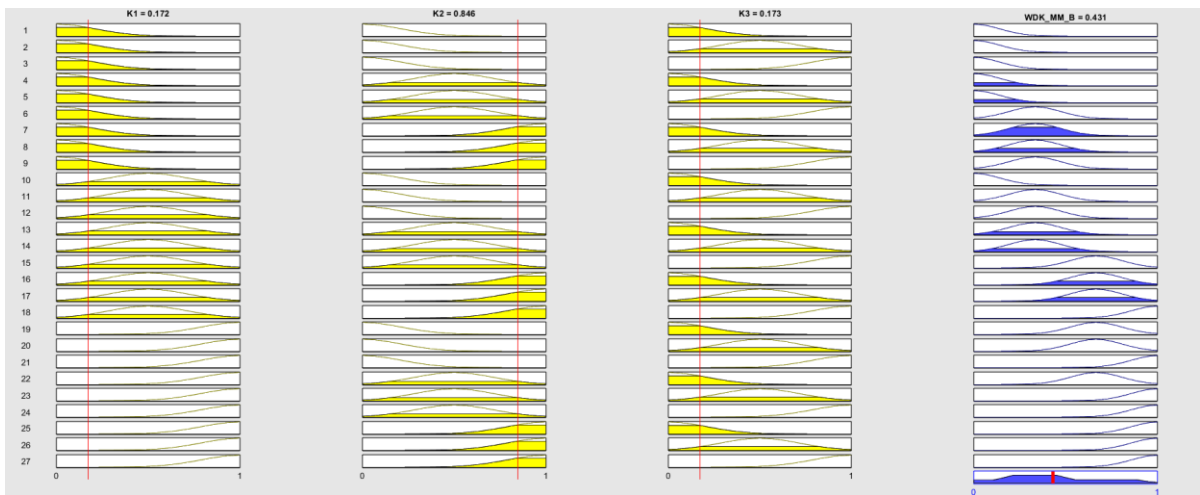
Podobnie jak w poprzednim przykładzie zmienna  $K4$  (kąt zgięcia szyjnego odcinka kręgosłupa) w większym stopniu wpływa na wzrost dyskomfortu wyznaczonego wskaźnikiem  $WDK_{MM\_SZ}$ , niż zmienna  $K5$  (kąt zgięcia boczny szyjnego odcinka kręgosłupa).



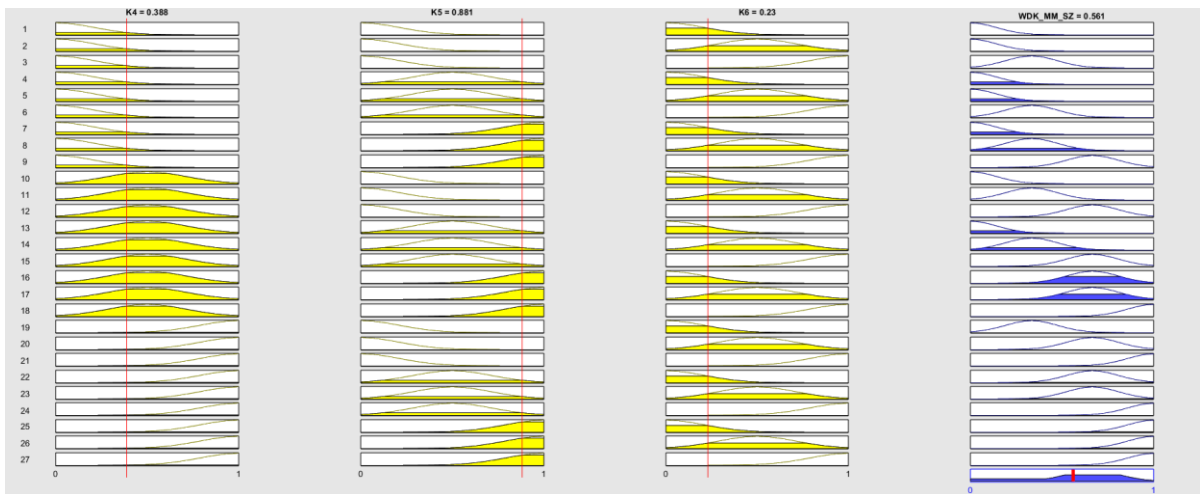
Rys. 67. Poziom wskaźnika  $WDK_{MM\_P}$  w funkcji kątów  $K7$  i  $K8$

Zmienna  $K7$  (kąt rotacji piersiowego odcinka kręgosłupa) przekraczając poziom średni zdecydowanie w większym stopniu wpływa na poziom wskaźnika  $WDK_{MM\_P}$  niż  $K8$  (Kąt zgięcia piersiowego odcinka kręgosłupa).

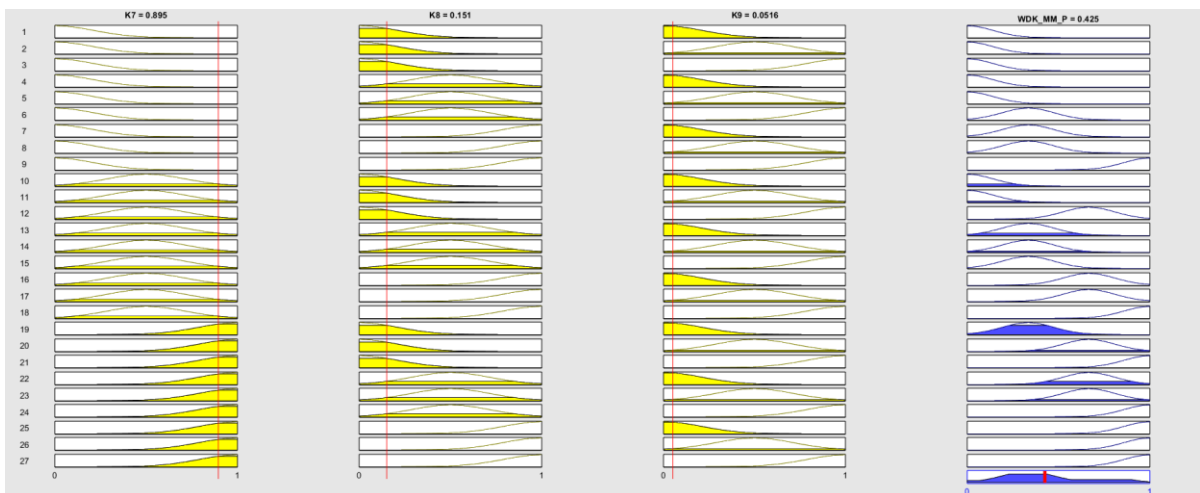
Rys. 68-70 przedstawiają odpowiednio wizualizację reguł implikacyjnych dla symulacji powyższych wskaźników dyskomfortu.



Rys. 68. Wizualizacja reguł implikacyjnych dla  $WDK_{MM\_B}$

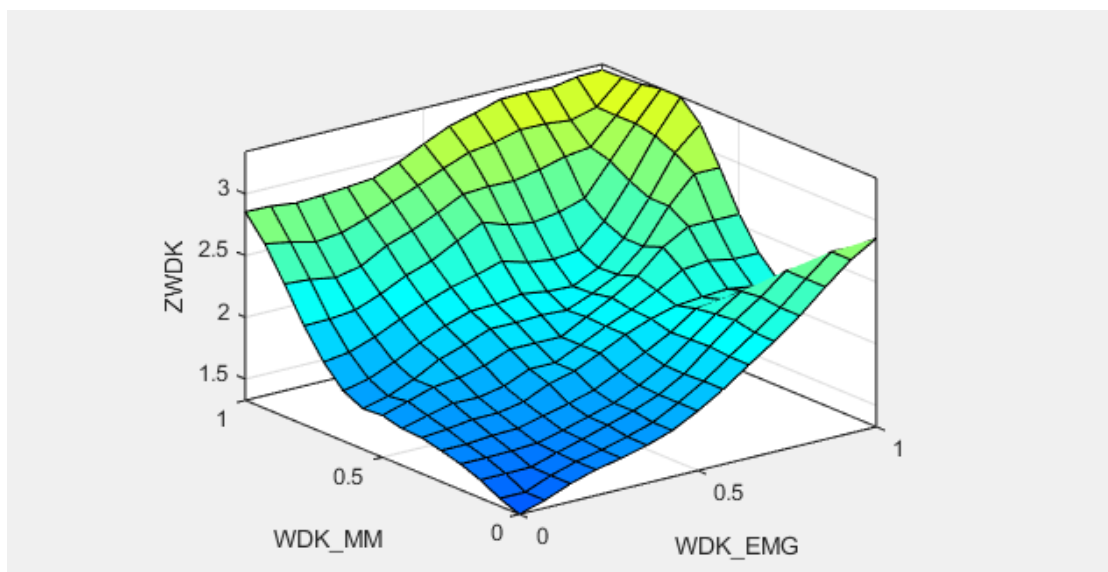


Rys. 69. Wizualizacja reguł implikacyjnych dla  $WDK_{MM\_SZ}$



Rys. 70. Wizualizacja reguł implikacyjnych dla  $WDK_{MM\_P}$

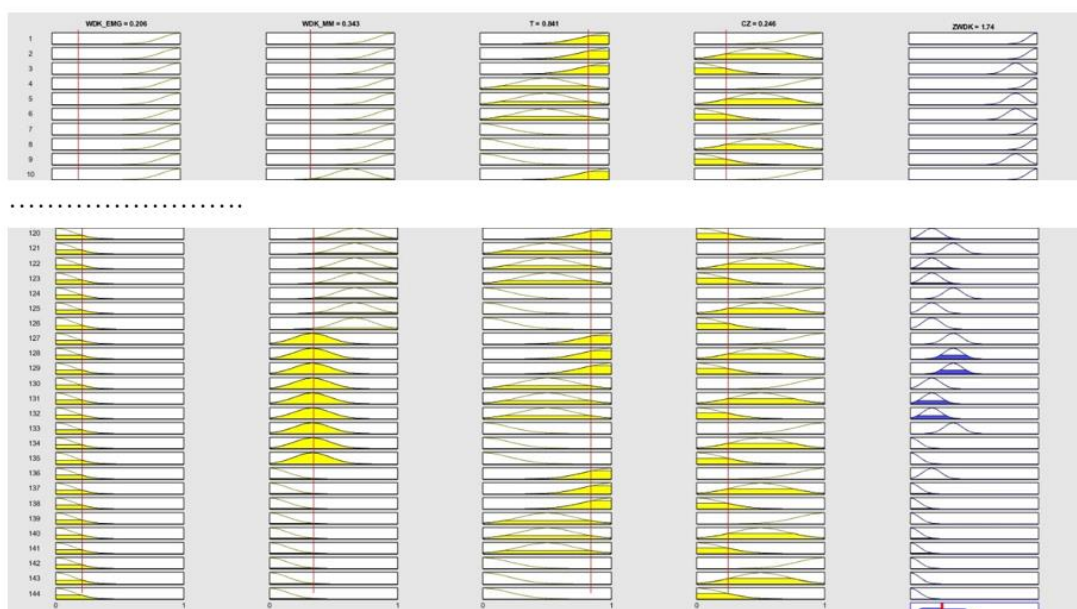




Rys. 71. Wyniki symulacji ZWDK w zależności od  $WDK_{MM}$  i  $WDK_{EMG}$

Na rysunku 71 przedstawiono przykłady zależności:  $WDK_{ZWDK}$  od parametrów  $WDK_{MM}$  i  $WDK_{EMG}$ .

Wpływ obu wskaźników dyskomfortu na wartość ZWDK nie jest jednakowy po przekroczeniu poziomów średnich. Zauważalny jest bardziej zmienny wpływ parametru  $WDK_{EMG}$ . Rys.72, tak jak w poprzednich przypadkach, przedstawia fragment wizualizacji reguł implikacyjnych (od 1 do 10 oraz od 120 do 144) dla symulacji  $WDK_{ZWDK}$ .



Rys. 72. Przykłady wizualizacji reguł implikacyjnych (od 1 do 10 oraz od 120 do 144) dla symulacji  $WDK_{ZWDK}$

Otrzymane wyniki z badań symulacyjnych potwierdziły założoną w modelu tendencję oddziaływania wybranych parametrów (zmiennych wejściowych modeli) na poziom dyskomfortu.

## 8. Implementacja metody oceny w wybranej karetce

Opracowany model oceny dyskomfortu obejmujący szereg submodeli odzwierciedlających złożoność parametrów mających wpływ na poziom dyskomfortu wykorzystano do oceny poziomu ergonomicznego przedziału medycznego.

Weryfikacja ilościowa zaproponowanej metody oceny zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu ZWDK została przeprowadzona na podstawie wyników badań dokonanych w trakcie wykonywanych przez ratownika procedur w ambulansie marki Mercedes Sprinter. Szczegółowe wyniki badań zaprezentowano w rozdziale 6. W tabeli poniżej (tabela 31) przedstawiono wartości zmiennych wejściowych modelu oceny ZWDK, które uzyskano w powyższych badaniach.

Tabela 31. Wartości liczbowe zmiennych liczbowych do modelu oceny ZWDK

|                                 |           | <b>Badane procedury medyczne</b> |           |           |           |           |
|---------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                 |           | <b>P1</b>                        | <b>P2</b> | <b>P3</b> | <b>P4</b> | <b>P5</b> |
| <b>Zmienne wejściowe modelu</b> | <b>M1</b> | 25,3                             | 37        | 39,3      | 21,8      | 38,6      |
|                                 | <b>M2</b> | 19,8                             | 23,5      | 22,8      | 21,4      | 24,1      |
|                                 | <b>M3</b> | 48                               | 38,7      | 28,7      | 26,4      | 47,6      |
|                                 | <b>M4</b> | 29,3                             | 50,8      | 51,7      | 32,7      | 46,5      |
|                                 | <b>M5</b> | 17,2                             | 15,4      | 18,7      | 14,5      | 28,2      |
|                                 | <b>K1</b> | 61,63                            | 0         | 105,7     | 0         | 0         |
|                                 | <b>K2</b> | 20,79                            | 0         | 45,62     | 4,06      | 0         |
|                                 | <b>K3</b> | 64,7                             | 38,98     | 10,98     | 13,66     | 60,44     |
|                                 | <b>K4</b> | 0                                | 7,36      | 0         | 0         | 0         |
|                                 | <b>K5</b> | 0                                | 54,62     | 0         | 0         | 0         |
|                                 | <b>K6</b> | 0                                | 69,68     | 0         | 4,85      | 6,8       |
|                                 | <b>K7</b> | 9,79                             | 32,55     | 110,53    | 3,22      | 32,38     |
|                                 | <b>K8</b> | 0,98                             | 13,34     | 54,87     | 0         | 13,7      |
|                                 | <b>K9</b> | 19,36                            | 15,35     | 41,62     | 0         | 17,32     |
|                                 | <b>T</b>  | 03:50                            | 03:25     | 04:50     | 01:25     | 02:20     |
| <b>CZ</b>                       | 367       | 12474                            | 9493      | 1900      | 14320     |           |

Na podstawie powyższych danych przeprowadzono symulację w programie Matlab-Simulink. W pierwszym kroku uzyskano wyniki ocen z dwóch submodeli. W tabeli 32 zaprezentowano wyniki oceny  $WDK_{EMG}$  dla poszczególnych procedur. Zgodnie z przyjętymi założeniami, im niższa wartość wskaźnika tym mniejszy dyskomfort. Na podstawie otrzymanych wyników, można stwierdzić, że najlepiej oceniona została procedura tlenoterapia (0,288). Ocenę dopuszczalną otrzymały następujące procedury: unieruchomienie kończyny dolnej (0,435), monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (0,621), farmakoterapia dożylna (0,636). Z kolei procedura dostęp naczyniowy (0,793) otrzymała najniższą ocenę, tj. niedopuszczalną – wskaźnik zbliżony do wartości 1.

Tabela 32. Ocena  $WDK_{EMG}$  poszczególnych procedur

| Procedury   | Ocena $WDK_{EMG}$ |                 |
|---|-------------------|-----------------|
|   | liczbowa          | słowna          |
| Unieruchomienie kończyny dolnej (P1)                    | 0,435             | dopuszczalny    |
| Monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (EKG) (P2) | 0,621             | dopuszczalny    |
| Farmakoterapia dożylna (P3)                             | 0,636             | dopuszczalny    |
| Tlenoterapia (P4)                                       | 0,288             | dobry           |
| Dostęp naczyniowy (P5)                                  | 0,795             | niedopuszczalny |

W tabeli 33 przedstawiono wyniki oceny  $WDK_{MM}$  dla poszczególnych procedur. Otrzymane wyniki wskazują, że najlepsze oceny otrzymały procedury: tlenoterapia (0,282), dostęp naczyniowy (0,291), monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (0,325). Ocenę dopuszczalną otrzymały procedury: unieruchomienie kończyny dolnej (0,422) oraz farmakoterapia dożylna (0,676).

Tabela 33. Ocena  $WDK_{MM}$  poszczególnych procedur

| Procedury   | Ocena $WDK_{MM}$ |              |
|---|------------------|--------------|
|   | liczbowa         | słowna       |
| Unieruchomienie kończyny dolnej (P1)                    | 0,422            | dopuszczalny |
| Monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (EKG) (P2) | 0,325            | dobry        |
| Farmakoterapia dożylna (P3)                             | 0,676            | dopuszczalny |
| Tlenoterapia (P4)                                       | 0,282            | dobry        |
| Dostęp naczyniowy (P5)                                  | 0,291            | dobry        |

Zgodnie ze schematem postępowania przedstawionym na rysunku 35 uzyskane wyniki ocen  $WDK_{EMG}$  oraz  $WDK_{MM}$  miały wpływ na końcowy wynik oceny, czyli Zintegrowany Wskaźnik Dyskomfortu ZWDK.

Na ich podstawie oraz uwzględniając czas trwania danej procedury i jej częstość występowania przeprowadzono symulację i otrzymano ocenę w postaci wskaźnika ZWDK. W tabeli 34 przedstawiono wyniki uzyskanych wskaźników ZWDK dla poszczególnych procedur.

Tabela 34. Ocena ZWDK dla poszczególnych procedur

| Procedury   | Ocena ZWDK |                         |
|---|------------|-------------------------|
|   | liczbowa   | słowna                  |
| Unieruchomienie kończyny dolnej (P1)                    | 2,16       | dobra                   |
| Monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (EKG) (P2) | 2,46       | więcej niż dopuszczalna |
| Farmakoterapia dożylna (P3)                             | 2,85       | dopuszczalna            |
| Tlenoterapia (P4)                                       | 1,32       | więcej niż dobra        |
| Dostęp naczyniowy (P5)                                  | 2,35       | więcej niż dopuszczalna |

Otrzymane wyniki wskazują, że aż dwie z badanych procedur otrzymały ocenę – więcej niż dopuszczalną, a są nimi: dostęp naczyniowy (2,35) oraz monitorowanie podstawowych funkcji życiowych (2,46). Analizując oceny cząstkowe, w przypadku procedury dostęp naczyniowy, z punktu widzenia oceny zakresu ruchów wskaźnik  $WDK_{MM}$  uzyskano na poziomie dobrym. O obniżeniu oceny zdecydowało nadmierne napięcie mięśniowe, dla którego wskaźnik  $WDK_{EMG}$  odpowiadał poziomowi niedopuszczalnemu. Badania wykazały, że w tym przypadku o nieprawidłowości pozycji zdecydowało obciążenie mięśniowe. Procedury: unieruchomienie kończyny dolnej oraz tlenoterapia otrzymały oceny pozytywne, tj. pierwsza z nich otrzymała ocenę dobrą (2,16), a tlenoterapia ocenę więcej niż dobrą (1,32). Najgorzej oceniona została procedura – farmakoterapia dożylna, która otrzymała ocenę dopuszczalną (2,85).

Powyższe oceny wskazują na konieczność wprowadzenia zmian w rozmieszczeniu elementów wnętrza ambulansu.

## 9. Identyfikacja źródeł uciążliwości

Na podstawie przeprowadzonych badań, ankiet oraz obserwacji można zidentyfikować źródła uciążliwości na stanowisku ratownika medycznego w ambulansie, które zestawiono w tabeli 35. Występowanie tych uciążliwości skutkują dolegliwościami mięśniowo-szkieletowymi ratowników. Należy zaznaczyć, że obserwacji zostały poddane procedury medyczne, które są najczęściej wykonywane przez ratowników medycznych podczas dyżurów, a więc wskazują na czynności, które ratownik w głównej mierze wykonuje, czyli ich powtarzalność jest największa. Ponadto badania EMG i MyoMotion potwierdzają nadmierne obciążenie i zbyt duże zakresy ruchu w stawach w odniesieniu do zaobserwowanych pozycji.

Tabela 35. Źródła uciążliwości /obserwacja, ankiety/

| <b>Źródła uciążliwości /obserwacja, ankiety/</b>   |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Obciążenie zewnętrzne wynikające z ciężaru kończyny</li><li>➤ Nieprawidłowe rozmieszczenie materiałów niezbędnych do wykonania procedury w szafkach przedziału ambulansu</li><li>➤ Brak stolika, na którym ratownik mógłby trzymać materiały potrzebne do wykonania procedury w trakcie jej wykonywania</li><li>➤ Zbyt niskie nosze (brak regulacji) – pochylanie się nad pacjentem</li><li>➤ Dostęp do pacjenta tylko z jednego boku i od czoła</li><li>➤ Brak możliwości wykonywania procedury z pozycji siedzącej</li></ul> |

Jednym z głównych źródeł uciążliwości jest nieprawidłowe rozmieszczenie materiałów medycznych w szafkach przedziału ambulansu. Podczas wykonywania procedur, ratownik zmuszony jest do przyjmowania pozycji mocno nachylonej nad pacjentem, aby wyjąć niezbędne materiały do pracy. Niewątpliwie inne rozmieszczenie materiałów w szafkach, takie, aby ratownik mógł do nich sięgać nie przyjmując wymuszonej pozycji ciała, pozytywnie wpłynęłoby na komfort pracy. Należy wziąć pod uwagę częstość wykonywanych procedur i umieścić materiały najczęściej używane np. w szafce znajdującej się na ścianie ambulansu oddzielającej miejsce pracy ratownika medycznego od miejsca pracy kierowcy w górnych szufladach na wysokości ok. 60 cm, tak aby zminimalizować schylanie się ratownika. Obecnie umieszczone materiały w dolnych szufladach wyżej wymienionej szafki, bądź też w szafce za noszami pacjenta skutkują nieprawidłową postawą ratownika podczas wyjmowania z nich materiałów. Można przyjąć, że wszelkie materiały opatrunkowe oraz strzykawki, które

używane są najczęściej powinny znajdować się w najbardziej dostępnym miejscu, a więc w zaproponowanych szufladach.

Kolejnym źródłem uciążliwości jest brak stolika, na którym ratownik mógłby umieścić materiały medyczne potrzebne do wykonania procedury. Przykładowo, w trakcie wykonywania procedury medycznej unieruchamianie kończyny dolnej, ratownik odkłada szynę Kramera na półkę znajdującą się na ścianie ambulansu od strony noszy pacjenta, na wyższej wysokości niż nosze, przyjmując przy tym postawę mocno przechyloną. Podczas procedury EKG za „tace” służą ratownikowi nogi pacjenta, na których odkłada kable oraz elektrody, jednocześnie przyjmując przy tym również postawę mocno pochyloną. Niewątpliwie wysuwany, teleskopowy stolik, byłby funkcjonalnym elementem wyposażenia, które ratownik mógłby wykorzystywać do odkładania niezbędnych materiałów medycznych podczas wykonywania procedur, jak również miałby możliwość przygotowywania na nim lekarstw do podania pacjentowi. Uwzględnienie teleskopowego stolika w wyposażeniu ambulansu niesłoby za sobą wymierne korzyści podczas pracy ratownika, w tym zmniejszyłoby przyjmowanie nadmiernie pochylonej pozycji przy pracy.

Do źródeł uciążliwości możemy zaliczyć również nieregulowane nosze, których obecna wysokość jest za niska. W czasie wykonywania wszystkich procedur medycznych, w trakcie których pacjent leży na noszach, ratownik przyjmuje nad nim wymuszoną pochyloną pozycję ciała. Warto zaznaczyć, że nosze stanowią podstawowe wyposażenie medyczne karettek pogotowia. W związku z tym, rekomendowane jest zastosowanie regulowanych noszy w celu zapewnienia możliwości dostosowania ich wysokości do potrzeb wykonywanej procedury. Dodatkowo dostęp do pacjenta, który znajduje się na noszach jest ograniczony. Ratownik może dojść do chorego tylko od strony jednego boku i od czoła, przez co w większym stopniu narażony jest na przyjmowanie niewygodnych pozycji ciała podczas pracy. Zalecane jest umiejscowienie noszy w kabinie ambulansu w taki sposób, aby umożliwić ratownikowi dojście z każdej strony do pacjenta. To związane jest z koniecznością zapewnienia większej przestrzeni kabiny, na co też wskazywali respondenci w ankietach.

Objawami niezastosowania zasad ergonomii w projekcie stanowiska pracy ratownika są głównie bóle kręgosłupa, które są między innymi również skutkiem przeciążenia organizmu wynikającego z dźwigania pacjentów i sprzętu. Analiza ankiet wykazała, że ponad połowa badanych osób wskazała na ból kręgosłupa towarzyszący im w czasie pracy. W trakcie dyżuru ratownika nieuniknione jest dźwiganie. Podczas obserwacji wykonywanych procedur zaobserwowano podnoszenie kończyny dolnej przez ratownika podczas jej unieruchamiania. Istnieje jednak możliwość zminimalizowania negatywnych skutków, poprzez zastosowanie

regulowanych noszy, jak już zostało wskazane wyżej. Zastosowanie ich spowodowałoby, że obracanie, bądź też podnoszenie pacjenta byłoby chociaż w niewielkim stopniu ułatwione.

Znaczącym źródłem uciążliwości jest także brak możliwości wykonywania procedur medycznych z pozycji siedzącej. Wszystkie procedury podlegające obserwacji, wykonywane były w pozycji stojącej. W trakcie procedury farmakoterapia ratownik korzysta z siedziska umieszczonego obok noszy, ale tylko w trakcie podawania lekarstw pacjentowi, natomiast wszystkie inne czynności w ramach tej procedury wykonuje na stojąco, niektóre z nich w pozycji kucznej. Respondenci w ankiecie szczególnie zwrócili uwagę na konieczność przyjmowania pozycji stojącej podczas wykonywania procedur medycznych, co skutkuje brakiem zabezpieczenia przed upadkiem podczas jazdy. Jest to jedna z kluczowych nieprawidłowości występujących w trakcie pracy ratowników w ambulansie. Ratownik medyczny przebywający w pozycji stojącej, wykonujący często procedury wymagające zaangażowania obu rąk jak np. uciskanie klatki piersiowej, podłączanie elektrod defibrylatora czy choćby sięganie do szafek po sprzęt lub leki, jest pozbawiony należytej ochrony podczas zmiany prędkości, zwłaszcza hamowania ambulansu. Próba asekuracji i zachowania stabilnej pozycji uzyskiwana przez ratowników medycznych poprzez wzmożone opieranie kończyn dolnych o nosze transportowe, bądź siedzisko prowadzić może do urazów i powstawania zasinień. Jest to nie tylko niebezpieczne dla ratownika, ale może też spowodować mniej precyzyjne wykonanie procedur medycznych. Z ankiety wynika, że w większości przypadków ratownicy twierdzą, że pozycja siedząca nie jest wygodna do wykonywania procedur medycznych. Usytuowanie drobnego sprzętu medycznego w szafkach pod sufitem przy jednoczesnym braku dostępności do pacjenta z obu stron czyni praktycznie niemożliwym jego osiągnięcie z pozycji siedzącej. Co więcej, w pozycji siedzącej wykonanie niektórych procedur jest utrudnione i to nie tylko z powodu wstrząsów jakie generuje ambulans podczas jazdy, ale również z powodu braku miejsca, w którym można zgromadzić niezbędny sprzęt do wykonania procedury. Ratownik medyczny w trakcie większości procedur musi przyjąć pozycję stojącą, aby zgromadzić niezbędny sprzęt. Następnie, kiedy już przyjmie ponownie pozycję siedzącą w fotelu, musi przed przystąpieniem do zabiegu odłożyć sprzęt w jedno miejsce. Jak już wspomniano, wokół nie ma żadnego stabilnego stolika/tacy, na której mogłaby taki sprzęt położyć, co zostało już wcześniej uznane za źródło uciążliwości. W przypadku nagłego hamowania grozi to oczywiście wieloma urazami zwłaszcza głowy, szyi i klatki piersiowej.

Analiza wyników badań wykazała, że należy wprowadzić zmiany w konstrukcji siedziska umieszczonego w ambulansie, np. na fotel z możliwością regulacji wysokości, bądź

też z możliwością wykonywania obrotów bocznych, co ułatwiłoby wykonywanie czynności medycznych w pozycji siedzącej. Skutecznym rozwiązaniem byłoby również obligatoryjne wprowadzenie zabezpieczeń przed upadkiem podczas pracy ratownika medycznego w pozycji stojącej w czasie jazdy karetki.

Wymienione uciążliwości potwierdzają, że przyjmowane nieprawidłowe pozycje ciała przez ratownika podczas wykonywania procedur medycznych wynikają ze złego rozplanowania wnętrza ambulansu. Wprowadzanie modyfikacji na etapie eksploatacji ambulansu, w wielu przypadkach, niestety ograniczone jest jedynie do zmian organizacyjnych, ale każda zmiana, która chociaż w minimalnym stopniu zmniejsza dyskomfort warta jest wprowadzenia.

Poza wszelkimi opisanymi uciążliwościami, należy również zwrócić uwagę na ogólny problem braku unifikacji w zakresie rozmieszczenia wyposażenia w ambulansach medycznych. Zapewnienie takiego samego rozmieszczenia wyposażenia wnętrza ambulansów, szczególnie z tego samego typoszeregu i o tych samych funkcjach, przyczyniłoby się do zmniejszenia niedogodności, z którymi muszą zmagać się ratownicy medyczni podczas dyżurów, co zostało również wykazane w ankietach przeprowadzonych wśród ratowników.



## 10. Wnioski i podsumowanie

Warunki pracy ratownika wewnątrz ambulansu kształtowane są przez wiele czynników na różnym poziomie. Może zatem zachodzić skumulowane ich oddziaływanie, wpływając tym samym na sprawność pracy ratownika. Wykorzystywane obecnie metody oceny poziomu ergonomicznego nie dają wiarygodnej informacji o kompleksowym wpływie czynników. W analizie specyfiki pracy wykazano możliwość wystąpienia czynników o różnym charakterze, co powoduje, że działania w kierunku ich minimalizacji są zupełnie inne. Domeną działalności inżynierskiej jest między innymi wprowadzanie zmian w rozwiązaniach technicznych. Najlepiej je przeprowadzić jeszcze na etapie badań prototypu, angażując w te badania końcowych użytkowników, czyli w tym przypadku przedstawicieli ratowników. W trakcie pracy ratownicy muszą korzystać z środków i urządzeń medycznych, a zatem problem ich rozmieszczenia zapewniający łatwy dostęp ma kluczowe znaczenie dla komfortu pracy.

Wymuszona, nieprawidłowa pozycja przy pracy jest niezwykle męcząca dla ratownika a w dłuższym okresie czasu prowadzi do schorzeń związanych z układem mięśniowo-szkieletowym. Na pozycję tę ma przede wszystkim wpływ rozmieszczenie tych miejsc, do których ratownik musi sięgać w trakcie pracy. Są to szafki, szuflady czy też miejsca mocowania urządzeń medycznych. Pozycję roboczą można zdefiniować poprzez analizę dwóch parametrów, jakimi są napięcie mięśniowe i zakres kątów w stawach podczas wykonywania czynności medycznych. Wszystkie odchylenia od norm w zakresie tych parametrów świadczą o konieczności kształtowania ciała w pozycji mniej lub bardziej wymuszonej.

Celem pracy było opracowanie kompleksowej metody oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika w ambulansie medycznym stosowanej na etapie badań prototypu i obejmującej metodykę identyfikacji pozycji roboczych ratownika oraz ocenę poziomu dyskomfortu pracy. Autorka pracy zaproponowała metodę opartą na analizie wspomnianych wyżej dwóch parametrów, czyli obciążeń poszczególnych mięśni oraz zakresów kątowych w stawach podczas wykonywanych procedur medycznych przez ratownika w ambulansie, uwzględniając przy tym również czas trwania danej procedury oraz częstość jej występowania.

Do analizy zależności między powyższymi czynnikami wykorzystano metody heurystyczne. Zastosowanie metody heurystycznej w postaci logiki rozmytej pozwoliło na kompleksowe podejście do oceny, uwzględniające czynniki o różnym charakterze.

Zaproponowana w pracy metoda ma wiele zalet, wśród których możemy wyróżnić przede wszystkim możliwość przeprowadzenia oceny na etapie projektowania ambulansu, tak aby wprowadzić ewentualne zmiany we wnętrzu kabiny ambulansu przed wprowadzeniem go na rynek. Wykorzystując np. makietę możliwe jest przyjęcie kilku wersji rozmieszczenia elementów wnętrza i wyposażenia kabiny ambulansu, a następnie dokonanie ich oceny poziomu ergonomicznego wyznaczając Zintegrowany Wskaźnik Dyskomfortu. Dzięki zastosowaniu metody na etapie prototypu możliwe jest wybranie tej najlepszej wersji projektu, czyli zminimalizowanie występowania uciążliwości wpływających w trakcie eksploatacji ambulansu na komfort pracy ratownika. Kompleksowość opracowanej metody oznacza rozpoznanie problemu wielopłaszczyznowo, stąd wykorzystanie w trakcie pozyskiwania danych szeregu metod badawczych, w tym również takich, które wymagają specjalistycznego sprzętu i złożonej analizy wyników. Takie podejście przynosi niekwestionowane korzyści, ponieważ wiedza ta daje możliwość dostarczenia na rynek ambulansu, w którym stres związany z nadmiernymi przeciążeniami fizycznymi może być zminimalizowany a nawet wyeliminowany. Pozyskane dane w sposób intuicyjny są implementowane do modelu w programie Matlab-Simulink. Otrzymany wynik w postaci zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu, przyjmującego wartości w 7-stopniowej skali, daje informację o poziomie dyskomfortu, związanego z nieprawidłową postawą podczas pracy. W przypadku otrzymania wysokiego wskaźnika dyskomfortu rekomendowane jest zmodyfikowanie wnętrza ambulansu, aby uzyskać jak najmniejszy wynik wskaźnika. Dokonanie oceny na etapie prototypu daje szansę wielokrotnej modyfikacji wnętrza, prowadzącą do jak największego obniżenia wskaźnika. Uzyskanie wartości wskaźnika równej 1 jest raczej mało prawdopodobne, ale to podejście daje możliwość znalezienia kompromisu w ostatecznej wersji struktury przestrzennej kabiny ambulansu. Pomocne przy formułowaniu zmian są również wyniki obserwacji, która jest elementem opracowanej metodyki. Pozwalają zidentyfikować nieprawidłową postawę ratownika podczas pracy. Warto zaznaczyć, że bez dokonania odpowiednich pomiarów nie da się wykazać stopnia odchylenia pozycji roboczej ratownika od przyjętej za niewymuszoną. W wyniku zastosowanej metody oceny można zdefiniować parametry opisujące przyjmowaną pozycję roboczą i na podstawie ich wartości określić stopień dyskomfortu towarzyszący wykonywanej pracy.

Każda metoda posiada zalety i wady. W tym przypadku, do wad lub bardziej niedogodności związanych z jej stosowaniem, można zaliczyć konieczność pozyskania zbioru wielu istotnych danych a to wymaga wykorzystania zaawansowanych technik pomiarowych i specjalistycznej aparatury. Do badań niezbędne jest wykorzystanie systemu EMG

oraz MyoMotion. Takie podejście jest możliwe właśnie na etapie badań prototypu. Ponadto metoda ma zastosowanie w typach ambulansu, które posiadają podobną kubaturę jak ambulans na bazie podwozia Mercedes Sprinter i mające funkcję „S”. W ambulansach o innym przeznaczeniu ratownicy wykonują też inne czynności medyczne, dlatego też wymagane są badania mające na celu pozyskanie danych, które umożliwią modyfikację rozmytego modelu oceny dyskomfortu. Stopień modyfikacji będzie zależał od uzyskanych danych. Warto również podkreślić, że badania pomiarów napięcia mięśniowego i zakresów kątowych powinny, w warunkach rzeczywistych badania prototypu, odbywać się z udziałem najmniejszego przedstawiciela populacji ratowników, czyli 5 centyla kobiet lub 5 centyla mężczyzn. Wynika to z faktu, że zapewnienie dostępu do elementów struktury przestrzennej tej grupie osób zapewni dostęp również osobom większym.

Metoda została zweryfikowana ilościowo przy wykorzystaniu rzeczywistych wyników badań, w wyniku czego stwierdzono poprawność działania opracowanego modelu.

**Należy stwierdzić, że praca zakończyła się zrealizowaniem postawionego przez autorkę celu.**

W rozprawie udowodniono również sformułowaną tezę, że zastosowanie zaawansowanych technik pomiarowych oraz metod heurystycznych w ocenie poziomu ergonomicznego przedziału medycznego ambulansu na etapie badań prototypu zminimalizuje występowanie uciążliwości na stanowisku pracy ratownika medycznego i poprawi komfort jego pracy.

**W świetle powyższego, należy stwierdzić, że teza pracy została w pełni potwierdzona.**

Zaproponowana w pracy metoda ma charakter utylitarny i jest skierowana do producentów karetek w celu zaprojektowania ostatecznej wersji ambulansu zgodnie z zasadami ergonomicznymi. Pewne modyfikacje, które nie są związane ze zmianami konstrukcyjnymi tylko organizacyjnymi można wykonywać już w trakcie eksploatacji ambulansu, ale ich określenie wymaga zastosowania opracowanej metody oceny. Mimo dużego nakładu pracy warto podejmować działania prowadzące do unifikacji ambulansów z danego „typoszeregu”. Każdy ambulans wykorzystujący podwozie danej marki samochodu i mający te same funkcje (typ S, P, T, N) powinien mieć zunifikowaną strukturę przestrzenną kabiny. Skraca to czas jaki ratownik poświęca na początku dyżuru na zapoznanie się z rozmieszczeniem niezbędnych środków medycznych i urządzeń we wnętrzu ambulansu.

Efekty rozprawy rozszerzyły dotychczasowy stan wiedzy, a realizacja pracy przyczyniła się do rozwoju stanu zagadnienia związanego z ergonomią stanowiska pracy ratownika

medycznego w ambulansie medycznym. Dzięki zastosowaniu opracowanej metody na etapie badań prototypu uzyskujemy stanowisko pracy ratownika, charakteryzujące się minimalnymi uciążliwościami. Jak wspomniano wcześniej, ich całkowita eliminacja nie zawsze jest możliwa, ale powinien być wypracowany najlepszy kompromis z możliwych.

Podsumowując, zastosowanie autorskiej metody powoduje przede wszystkim poprawę warunków pracy ratowników w ambulansie i w związku z tym, zmniejsza u nich występowanie dolegliwości mięśniowo-szkieletowych. Skutkuje to jednocześnie zmniejszeniem problemu ekonomicznego związanego z kosztami wynikającymi z niezdolności do wykonywania pracy oraz nieobecności w pracy ratowników. Warto podkreślić, że pozytywnym efektem jest również podniesienie jakości wykonywanych procedur medycznych przez ratowników co poprawia skuteczność leczenia pacjentów.

Rozwiązanie zaprezentowane w niniejszej rozprawie stanowi bazę do dalszych badań w obszarze stanowiska pracy ratownika medycznego w ambulansie. Kolejnym krokiem właściwe byłoby przeprowadzenie badań na większej liczbie ratowników medycznych, tak aby prześledzić wpływ wymiarów antropometrycznych, innych niż dla najmniejszych reprezentantów populacji ratowników. Ponadto zalecane jest zweryfikowanie metody oceny na większej liczbie procedur medycznych.

Zawód ratownika medycznego jest niezwykle ważny, dlatego konieczne jest zapewnienie ergonomicznego i komfortowego stanowiska pracy w ambulansie, tak aby było odpowiednio przystosowane do jego potrzeb i tym samym zapewniało niezawodne wykonywanie procedur.

## Bibliografia

1. Aasa, U., Barnekow-Bergkvist, M., Angquist, K.A., Brulin, C., Relationships between work-related factors and disorders in the neck-shoulder and low-back region among female and male ambulance personnel, *Health* 2005, 47, 481–489.
2. Aljerian N., Alshehri S., Masudi E., Albawardi AM., Alzahrani F., Alanazi R., The Prevalence of Musculoskeletal Disorders among EMS Personnel in Saudi Arabia, Riyadh. *Egypt J Hosp Med.* 2018; 73 (1): 5777–5782.
3. Alnaami I., Awadalla NJ., Alkhairy M., Alburidy S., Alqarni Ab., Algarni Al., Prevalence, and factors associated with low back pain among health care workerks in southwestern Saudi Arabia. *BMC Musculoskel Dis* 2019; 20(1): 56. doi: 10.1186/s12891-019-2431-5.
4. Auvinen T., Lisitsyn D., Study of Paramedic Staff Safety Comparing Greater Manchester, and Finland., Thesis 2017.
5. Bartuzi P., Metoda ocena zmęczenia mięśni w aspekcie cech osobniczych pracownika, CIOP PIB, Warszawa 2013.
6. Bartuzi P., Roman-Liu D., Ocena obciążenia i zmęczenia układu mięśniowo-szkieletowego z zastosowaniem elektromiografii, CIOP PIB, *Bezpieczeństwo pracy nauka i praktyka*, 4/2007.
7. Bęczkowska S., Grabarek I., Mróz K., Occupational Safety in a Medical Ambulances W: Research Methods and Solutions to Current Transport Problems, Siergiejczyk M., Krzykowska K. (red.), *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Springer, s.21-30, ISBN 978-3-030-27686-7.
8. Bęczkowska S., Grabarek I., Pilip S., Szpakowski L., Gałązkowski R., Road ambulances: working conditions of paramedics - pilot studies, *Int J Occup Med Environ Health* 2020;33(1):91–105.
9. Bęczkowska Sylwia, Celiński Daniel, Grabarek Iwona, Grzybowska Katarzyna, Zysk Zuzanna, *(Nie)ergonomiczne warunki pracy w ambulansie medycznym*, *Medycyna Pracy*, 2024, vol. 75(1), s.1-14.
10. Binczycka-Anholcer M., Lepiesza P., Stres na stanowisku pracy ratownika medycznego, *Hygeia Public Health* 2011, 46(4): 455-461.
11. Boocock, M.G., Gray, M.I., Williams, S., 2002. Patient handling in the ambulance services, case study investigations. In: McCabe, P.T. (Ed.), *Contemporary Ergonomics* 2002. Taylor & Francis, London pp. 33–38.

12. Bruls E., Crasson M., Van Reeth O., Legros JJ. Melatonin. II. Physiological and therapeutic effects. *Rev Med Liege* 2000, 55(9): 862-870.
13. Bryndal A., Glowinski S., Hebel K., Grochulska J., Grochulska A., The Prevalence of Neck and Back Pain among Paramedics in Poland, *MDPI, J. Clin. Med.* 2023, 12, 7060.
14. Bugajska J., Hildt-Ciupińska K., Pawłowska-Cypriasiak K., Konarska M., Namysł A., Badania ankietowe dotyczące oceny psychofizycznych warunków pracy i dolegliwości mięśniowo-szkieletowych wśród pielęgniarek i pielęgniarzy pomocy społecznej oraz ratowników medycznych, Warszawa Centralny Instytut Ochrony Pracy BIP, 2013.
15. Corbeil P., Plamondon A., Tremblay A., Prairie J., Larouche D., Hegg-Deloye S., Measurement of emergency medical technician-paramedics' exposure to musculoskeletal risk factors, report R-944, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montreal, 2017.
16. Courtney, J.A., Francis, A.J.; Paxton, S.J. Caring for the carers: Fatigue, sleep, and mental health in Australian paramedic shiftworkers. *Aust. N. Z. J. Organ. Psychol.* 2010, 3, 32–41.
17. Da Costa BR, Vieira ER., Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *Am J Ind Med* 2010; 53 (3): 285–323. doi: 10.1002/ajim.20750.
18. Dąbrowska A., Dąbrowski M., Witt M., Bezpieczeństwo pracy personelu medycznego Zespołów Ratownictwa Medycznego Emergency Medical Service personel safety, Zakład Medycyny Katastrof, Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, *Anestezjologia i Ratownictwo* 2012; 6: 490-496.
19. Doormaal, M.T.A.J., Driessen, A.P.A., Landeweerd, J.A., Drost, M.R., 1995. Physical workload of ambulances assistants. *Ergonomics* 38 (2), 361–376.
20. Evaluation of Paramedics Tasks and Equipment to Control the Risk of Musculoskeletal Injury, 2001 Workers' Compensation Board of British Columbia.
21. Fedorczyk W., Pawlas K., Ryzyko zawodowe w pracy ratownika medycznego, *Hygeia Public Health* 2011, 46(4): 437-441.
22. Ferguson B. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* 9th Ed. 2014. *J Can Chiropr Assoc.* 2014; 58:328.
23. Ferreira J., Sue Hignett S.: Reviewing ambulance design for clinical efficiency and paramedic safety., *Applied Ergonomics* 36 (2005) 97–105.
24. Friedenber, R.; Kalichman, L.; Ezra, D.; Wacht, O.; Alperovitch-Najenson, D. Work-related musculoskeletal disorders and injuries among emergency medical technicians

- and paramedics: A comprehensive narrative review. *Arch. Environ. Occup. Health* 2022, 77, 9–17.
25. Frydrysiak K., Grześkowiak M., Podlewski R., Agresja pacjentów zagrożeniem w pracy zespołów ratownictwa medycznego, *Anestezjologia i Ratownictwo* 2014; 8: 381-391.
  26. Gałązkowski R., Binkowska A., Samoliński K.: Occupational injury rates in personnel of emergency medical service., *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2015, Vol.22, No 4, pp.625-629.
  27. Garus-Pakowska A., Gaszyńska E., Szatko F.: Częstość występowania wypadków przy pracy wśród ratowników medycznych w latach 2001–2013 na podstawie rejestru wybranego szpitala., *Medycyna Pracy* 2016;67(2):213–221.
  28. Gilad I., Byran E., Ergonomic evaluation of the ambulance interior to reduce paramedic discomfort and posture stress, *Hum. Factors* 2008;49(6):1019–1032.
  29. Goniewicz M., *Medycyna katastrof. Problemy organizacyjno-diagnostyczne.* Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomii i Prawa, Kielce 2012.
  30. Górka E., *Metody oceny ryzyka zawodowego*, Wydawnictwo Wydział Zarządzania Politechnika Warszawska, Warszawa 2010,
  31. Grochowska A., Gawron, A., Bodys-Cupak, I. Stress-Inducing Factors vs. the Risk of Occupational Burnout in the Work of Nurses, and Paramedics. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 5539.
  32. Guidelines CPR&ECC Highlights, Aktualne wytyczne w zakresie resuscytacji krążeniowo-oddechowej i doraźnego postępowania w zaburzeniach krążenia, 2015.
  33. Gunther P., Hoy B., An exploratory ergonomic study of musculoskeletal disorder prevention in the Queensland Ambulance Service, *J Health Saf Environ.* 2015; 31(3): 255–271.
  34. Hartvigsen J., Hancock MJ., Kongsted A., Louw Q., Ferreira ML., Genevay S., What low back pain is and why we need to pay attention. *Lancet* 2018; 391: 2356–67. doi: 10.1016/S0140-6736(18)30480-X.
  35. Hetherington A., *Wsparcie psychologiczne w służbach ratowniczych*, Gdańsk 2004.
  36. Hignett S., McAtamney L.: Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics* 2000; str. 201-205. 10.
  37. <https://kpr.med.pl/aktualnosc/581,agresja-wobec-ratownikow-nie-jest-bezkarna> (dostęp 04.01.2023)
  38. [https://lab.awfis.net/?page\\_id=364](https://lab.awfis.net/?page_id=364) (dostęp: 01.09.2022)

39. <https://osha.europa.eu/pl/themes/musculoskeletal-disorders> (dostęp: 04.01.2023)
40. <https://ratownicy24.pl/agresja-wobec-ratownikow-medycznych-nie-slabnie/> (dostęp: 04.01.2023)
41. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/> (dostęp: 10.08.2022)
42. <https://www.autofrelik.pl/najlepszy-samochod-pod-karetke> (dostęp: 10.08.2022)
43. <https://www.bhpex.pl/bhp/uslugi/obciazenie-miesniowo-szkieletowe/ryzyko-zawodowe-metoda-reba/> (dostęp: 25.02.2023)
44. [https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P7200142851340545953779&html\\_tresc\\_root\\_id=19019&html\\_tresc\\_id=300002034&html\\_klucz=19019&html\\_klucz\\_spis=](https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P7200142851340545953779&html_tresc_root_id=19019&html_tresc_id=300002034&html_klucz=19019&html_klucz_spis=) (dostęp: 25.02.2023)
45. <https://www.forumzdrowia.pl/artukul/postepowanie-w-zlamaniach-kosci-i-zwichniaciach-stawow;5731185.html> (dostęp: 02.10.2022)
46. <https://www.gov.pl/web/zdrowie/zespoly-ratownictwa-medycznego> (dostęp: 12.11.2023)
47. <https://www.medfinance.pl/jakie-sa-rodzaje-karetek-w-polsce> (dostęp: 12.11.2023)
48. [https://www.mp.pl/pacjent/badania\\_zabiegi/152094,elektrokardiografia-ekg](https://www.mp.pl/pacjent/badania_zabiegi/152094,elektrokardiografia-ekg) (dostęp: 02.10.2022)
49. <https://www.rynekzdrowia.pl/Prawo/Pielegniarki-i-ratownicy-medyczni-mowia-dosc-Chca-postawic-tame-agresji-pacjentow,201823,2.html> (dostęp: 04.01.2023)
50. <https://www.rynekzdrowia.pl/Uslugi-medyczne/Gdansk-ratownik-ktory-zaklul-sie-brudna-igla-sam-zaplaci-za-leki,14068,8.html> (dostęp: 14.01.2023)
51. <https://www.solidarnosc.org.pl/choroby-ukladu-miesniowo-szkieletowego-zwiazane-z-praca-2/> (dostęp: 14.01.2023)
52. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (dostęp: 15.03.2023)
53. Jarosiewicz Grażyna, Choroby układu ruchu, Medycyna 4/2006
54. Kahn CA, Pirralo RG, Characteristic of fatal ambulance crashes in the United States Prehosp Emerg Care 2001; 5:261-9.
55. Kołacki A., Bezpieczeństwo personelu ratownictwa medycznego oraz pacjentów w ambulansach, Bezpieczeństwo w środowisku pracy, Postępy medycyny pracy, ratownictwa medycznego i inżynierii bezpieczeństwa pracy, Oficyna Wydawnicza, 2011.
56. Kowalczyk K., Krajewska-Kułak E., Klimaszewska K., Kondzior D., Wpływ obciążenia psychicznego pracowników zintegrowanego zespołu medycznego na



- zadowolenie z wykonywanej pracy, *Problemy pielęgniarstwa*, tom 17, zeszyt nr 4, 2009.
57. Kowalczyk M., Zgorzalewicz-Stachowiak M., Duchniak M., Kłosiewicz T., Ocena częstości występowania u ratowników medycznych zespołu bólowego kręgosłupa związanego z pracą, *Med Og Nauk Zdr.* 2020;26(1):66-71.
  58. Kraft M., Fularz M., Kaczmarek P., Schmidt A., Sprzętowy układ do estymacji siły oraz zmęczenia mięśni na podstawie sygnału elektromiograficznego, *Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i inżynierii automatycznej, PAK vol. 58, nr 7/2012.*
  59. Krasoń P., Mączewska A., *Organizacja stanowiska naprawczego z uwzględnieniem zasad ergonomii*, 2017.
  60. Krawiecki Z., Hulewicz A., Cichocki-Kaiser M., *Przetwarzanie i analiza sygnału elektrycznego z mięśni przy użyciu komputerowego stanowiska pomiarowego*, *University of Technology Academic Journals 88, Electrical Engineering, Poznań 2016.*
  61. Krawiecki Z., Szalkiewicz S., Hulewicz A., Parzych J., *Programowa identyfikacja wybranych zakłóceń zarejestrowanych przy pomiarze sygnału EMG*, *Poznań University of Technology Academic Journals 89, Electrical Engineering, Poznań 2017.*
  62. Ksykiewicz–Dorota A., *Ergonomiczna Analiza Pracy, Zarządzanie w Pielęgniarstwie*, *Wydawnictwo Czelej Sp., str. 421–438, Lublin, 2005.*
  63. Kulczycka K., Grzegorzczak-Puzio E., Strychno E., Piasecki J., Strach R., *Wpływ pracy na samopoczucie ratowników medycznych*, *Medycyna Ogólna Nauki O Zdrowiu*, 66–71, 2016.
  64. Kurzynowski K., *Ratownik medyczny, Doświadczenia własne – próba oceny*, *materiały XI Ogólnopolskie Forum Ratownictwa, Inowrocław*
  65. Łaziuk B., *Zagrożenia w środowisku pracy ratowników medycznych, Bezpieczeństwo w środowisku pracy, Postępy medycyny pracy ratownictwa medycznego i inżynierii bezpieczeństwa pracy*, *Oficyna Wydawnicza*, 2011.
  66. Lelonek B., Kołodziej M., *Stres w zawodzie Ratownika Medycznego*, *Zawodowe i Społeczne Problemy Ochrony Zdrowia*, *Chmielewski, J., Merecz-Kot D., Springer, M., Eds.; IOS-PIB: str. 35–45, Warszawa 2016.*
  67. Letendre J., Robinson D., *Evaluation of paramedic’s tasks and equipment to control the risk of musculoskeletal injury*, *Ambulance Paramedics of British Columbia, CUPE Local 873 Internal Report 6-08-0793*, 2000.
  68. Levick N., Grzebieta R., *Crashworthiness analysis of three prototype ambulance vehicles* *International Enhanced Safety of Vehicles No 07-0249, Lyon, France 2007.*

69. Marcinkowski J., Higiena, profilaktyka i organizacja w zawodach medycznych. Warszawa, Wyd. Lekarskie PZWL, 2003.
70. Materiały informacyjne dotyczące prewencji wypadkowej i profilaktyki nadmiernego obciążenia układu ruchu ratowników medycznych Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy, 2013.
71. MIND, Mental Health in the Emergency Services Our 2019 Survey Results— Ambulance Service, 2016., <https://www.mind.org.uk/media-a/4847/2019-survey-ambulance-service-summary.pdf> (dostęp: 04.01.2023)
72. Mroczek B., Łubkowska W., Jarno W., Jaraczewska E., Mierzecki A., Occurrence and impact of back pain on the quality of life of healthcare workers, 2020.
73. Mydlarska J., Radzenie sobie ze stresem w służbach ratowniczych, Administracja ochrony bezpieczeństwa i porządku publicznego w Wielkopolsce. Służby, inspekcje i straże, J. Konieczny (red.), Poznań 2010.
74. Mydlarska J., Stres a wczesna interwencja kryzysowa, materiały XV Ogólnopolskie Forum Ratownictwa, Inowrocław 2010.
75. Norma PN-EN: 1789:2021-02 Medyczne środki transportu i ich wyposażenie – Środki drogowego transportu medycznego, Polski Komitet Normalizacyjny.
76. Ntatamala I., Adams, S. The Correlates of Post-Traumatic Stress Disorder in Ambulance Personnel and Barriers Faced in Accessing Care for Work-Related Stress, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022.
77. Ogińska-Bulik N., Kaflik-Pieróg N., Stres zawodowy w służbach ratowniczych, Łódź 2007.
78. Ogłodek E., Nasilenie objawów stresu pourazowego u osób wykonujących zawód ratownika medycznego, *Medycyna Środowiskowa*, 14 (3), 2011.
79. Olejnik K., Nowacki G., Woźniak G., Ocena obowiązujących wymagań w ambulansach pogotowia ratunkowego, *Logistyka* 4/2015.
80. Ploeg E., Kleber R. J., Acute and chronic job stressors among ambulance personnel: predictors of health symptoms, *Occup Environ Med* 2003;60(Suppl I): 40–46.
81. Pniewski R., Pietruszczak D., Ciupak M., Transport medyczny karettek pogotowia ratunkowego, *Analiza czasów przejazdu, Autobusy* 6/2018.
82. Pomoc doraźna i ratownictwo medyczne w 2022 r., <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/zdrowie/zdrowie/pomoc-dorazna-i-ratownictwo-medyczne-w-2022-roku,14,7.html> (dostęp 31.01.2024)

83. Raport Absencja chorobowa w 2022 r., Zakład Ubezpieczeń Społecznych, Departament statystyki i prognoz aktuarialnych, Warszawa 2023,
84. Raport Absencja chorobowa w 2023 r., Zakład Ubezpieczeń Społecznych, Departament statystyki i prognoz aktuarialnych, Warszawa 2024,
85. Raport interwencji Samodzielnego Publicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej RM Meditrans w Siedlcach za rok 2022,
86. Rodgers, L.M., 1998, A five-year study comparing early retirements on medical grounds in ambulance personnel with those in other groups of health service staff. Part II: causes of retirement. *Occupational Medicine* 48, 119–132
87. Roman-Liu D., Analiza biomechaniczna pracy powtarzalnej, CIOP PIB, Warszawa 2003.
88. Romanowska-Słomka I., Ocena ryzyka zawodowego ratownika medycznego, *Hyg Pub Health* 2011; 46(4): 437- 44.
89. Romanowska-Słomka I., Słomka A., Zagrożenie biologiczne w służbie zdrowia, Biblioteczka Ośrodka Szkolenia Państwowej Inspekcji Pracy, Wrocław, 2006.
90. Rosnah Mohd. Yusuff, Abdul Malik Bin Zainal Abidin, Fazlollah Agamohamadi: Task Analysis of paramedics in the Ambulance Patient Compartment., *Advance Engineering Forum*, ISSN: 2234-99X, Vol. 10, str. 278-284, Trans tech Publications, Szwajcaria, 2013.
91. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16 grudnia 2019 r. w sprawie medycznych czynności ratunkowych i świadczeń zdrowotnych innych niż medyczne czynności ratunkowe, które mogą być udzielane przez ratownika medycznego (Dz.U. 2019 poz. 2478)
92. Saif Al-Qaisia, Fereydoun Aghazadeh Electromyography analysis: Comparison of maximum voluntary contraction methods for anterior deltoid and trapezius muscles, *Procedia Manufacturing* 3 (2015) 4578 – 4583.
93. Saud Ali Algaribi, Lutfiah Abdul-Aziz Qawwas, Bandar Al mufareh, Ali Hassan Aldehaim, Safety issues faced by paramedics in ambulances in Saudi Arabia, *Saudi Journal of Emergency Medicine* 2(1):1, 2020.
94. Sęk H., Wypalenie zawodowe – przyczyny, mechanizmy, zapobieganie, Warszawa 2007.
95. Sip M., Juskowiak K., Zgorzalewicz-Stachowiak M., Zeńczak-Praga K., Rybakowski M., Podlewski R., Ewolucja zawodu ratownika medycznego w Polsce oraz zagrożenia związane z jego wykonywaniem, *Hygeia Public Health* 2019, 54(1): 15-22.

96. Ślęzak D., Żuratyński P., Krzyżanowski K., Kalis A., Państwowe ratownictwo medyczne w Polsce, *Logistyka* 4/2015.
97. Słowińska A., Zagrożenia związane z wykonywaniem zawodu ratownika medycznego., *Przyjaciel przy pracy*, Nr 04 (781), 2016.
98. Sobolewski T., Posuniak P., Bezpieczeństwo pasażerów pojazdu medycznego podczas wypadku drogowego w świetle obowiązujących przepisów homologacyjnych, *Logistyka* 3/2014.
99. Sobota G., Elektromiografia i jej zastosowanie w zaburzeniach aparatu żucia, *Dysfunkcje narządu żucia*, 6 /2012.
100. Sterud T., Hem E., Lau B., Ekeberg Ø., A comparison of general and ambulance specific stressors: predictors of job satisfaction and health problems in a nationwide one-year follow-up study of Norwegian ambulance personnel, *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 2011.
101. Szkarłat A., Analiza narażenia na czynniki niebezpieczne, szkodliwe i uciążliwe występujące w środowisku pracy ratownika medycznego., praca dyplomowa, promotor: Marcin Mikos, Kraków: Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego, 2018.
102. Tina Lee Y., Kibira D., Barnard Feeney A., Marshall J.: Ambulance design Survey 2011: A summary report., *Journal of Research of the national Institute of Standards and Technology*, Vol. 118, 2013.
103. Tytyk E., Miedziarek S., Suterski H., Ergonomia i Inżynieria Bezpieczeństwa w ograniczaniu ryzyka zawodowego, *Bezpieczeństwo w środowisku pracy, Postępy medycyny pracy, ratownictwa medycznego i inżynierii bezpieczeństwa pracy*, Konieczny Jerzy Garmond Oficyna Wydawnicza, 2011.
104. Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o działalności leczniczej (Dz.U. 2011 nr 112 poz. 654)
105. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym (Dz.U.2023.0.1047)
106. Ustawa z dnia 8 września 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz.U. 2006 nr 191 poz. 1410 z późn. zm.)
107. Ward CL., Lombard CJ., Gwebushe N., Critical incydent exposure in South African emergency services personel: prevalance and associated mental health issues. *Emerg Med J* 2006:23(3):226-31.
108. Wawrzynowicz H., Radzenie sobie ze stresem po wydarzeniach traumatycznych, *Materiały VII Ogólnopolskie Forum Ratownictwa*, Inowrocław 2002.

109. Wnuk S., Brenk M., Porównanie metod oceny ryzyka rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych dla zawodu malarza pomieszczeń, zeszyty naukowe politechniki poznańskiej nr 71 Organizacja i Zarządzanie 2016 Wawrzynowicz H., Radzenie sobie ze stresem po wydarzeniach traumatycznych, Materiały VII Ogólnopolskie Forum Ratownictwa, Inowrocław 2002.
110. Wnuk S., Brenk M., Porównanie metod oceny ryzyka rozwoju dolegliwości mięśniowo-szkieletowych dla zawodu malarza pomieszczeń, zeszyty naukowe politechniki poznańskiej nr 71 Organizacja i Zarządzanie 2016 Wnukowski K., Kopański Z., Brukwicka I., Sianos G.: Zagrożenia towarzyszące pracy ratownika medycznego- wybrane zagadnienia, Journal of Clinical Healthcare 2015; 3: 10- 16.
111. Wnukowski K., Kopański Z., Brukwicka I., Sianos G.: Zagrożenia towarzyszące pracy ratownika medycznego- wybrane zagadnienia, Journal of Clinical Healthcare 10- 16, 2015.
112. Wnukowski K., Kopański Z., Sianos G.: Specyfika pracy ratownika medycznego., Journal of Clinical Healthcare 3/2015.
113. Workers' Compensation Board of British Columbia: Evaluation of Paramedics Tasks and Equipment to Control the Risk of Musculoskeletal Injury, 2001.
114. Zuratynski P., Slezak D., Krzyzanowski K., Szczepanski R., Jaltuszewska S., Państwowy System Ratownictwa Medycznego w Polsce, Borgis - Postępy Nauk Medycznych 4/2019, s. 155-164.
115. Zużewicz K., Hildt-Ciupińska K., Malińska M., Pawłowska-Cyprysiak K., Konarska M., Bugajska J., Namysł A., Ordysiński S., Tokarski T.: Badanie i ocena obciążenia pracą osób zatrudnionych w ratownictwie medycznym i pomocy społecznej., Centralny Instytut Pracy BIP, 2013.

## Spis rysunków

|   |    |
|---|----|
| Rys. 1. Szkodliwe czynniki środowiska pracy ratowników medycznych [opracowanie własne]  | 17 |
| Rys. 2. Wnętrze ambulansu [źródło własne]   | 34 |
| Rys. 3. Etapy budowy metody oceny poziomu ergonomicznego stanowiska pracy ratownika [opracowanie własne]                                  | 41 |
| Rys. 4. Stanowisko testowe – wnętrze karetki pogotowia z pełnym wyposażeniem medycznym i symulatorem medycznym na noszach [źródło własne] | 42 |
| Rys. 5. Rozkład stażu pracy wśród uczestników badań   | 44 |
| Rys. 6. Pozycja przyjmowana przez ratowników podczas wykonywania procedur medycznych podczas jazdy karetki                                | 45 |
| Rys. 7. Rodzaje dolegliwości bólowych występujących u ankietowanych ratowników  | 46 |
| Rys. 8. Czas zapoznania się z rozmieszczeniem wyposażenia we wnętrzu karetki  | 47 |
| Rys. 9. Przykładowe umieszczenie elektrod powierzchniowych nad badanym mięśniem   | 53 |
| Rys. 10. Badane mięśnie   | 53 |
| Rys. 11. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury unieruchamianie kończyny dolnej                        | 56 |
| Rys. 12. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury EKG  | 58 |
| Rys. 13. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury farmakoterapia   | 59 |
| Rys. 14. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury tlenoterapia   | 61 |
| Rys. 15. Procentowa wartość napięcia badanych mięśni podczas wykonywania procedury dostęp naczyniowy                                      | 63 |
| Rys. 16. Umieszczenie czujników na badanym ratowniku medycznym – widok z przodu [opracowanie własne]                                      | 66 |
| Rys. 17. Umieszczenie czujników na badanym ratowniku medycznym – widok z tyłu [opracowanie własne]  | 66 |
| Rys. 18. Schemat postępowania podczas stosowania metody REBA [43]   | 74 |
| Rys. 19. Ocena obciążenia ramion metodą REBA [43]   | 74 |
| Rys. 20. Ocena obciążenia przedramion metodą REBA [43]  | 75 |
| Rys. 21. Ocena obciążenia nadgarstka metodą REBA [43]   | 75 |

|   |     |
|---|-----|
| Rys. 22. Ocena obciążenia szyi metodą REBA [43].....  | 75  |
| Rys. 23. Ocena obciążenia tułowia metodą REBA [43] .....  | 75  |
| Rys. 24. Ocena obciążenia kończyn dolnych metodą REBA [43].....   | 76  |
| Rys. 25. Pozycja podczas unieruchamiania kończyny dolnej wraz z oceną REBA<br>[opracowanie własne].....     | 77  |
| Rys. 26. Pozycja podczas wykonywania procedury unieruchamiania kończyny dolnej<br>[opracowanie własne]..... | 77  |
| Rys. 27. Pozycja podczas wykonywania procedury EKG wraz z oceną REBA [opracowanie<br>własne] .....          | 78  |
| Rys. 28. Pozycja podczas wykonywania procedury EKG [opracowanie własne] .....                               | 79  |
| Rys. 29. Ocena REBA dla procedury tlenoterapia [opracowanie własne].....                                    | 79  |
| Rys. 30. Pozycja podczas wykonywania procedury tlenoterapia [opracowanie własne] .....                      | 80  |
| Rys. 31. Ocena REBA dla procedury farmakoterapia [opracowanie własne] .....                                 | 80  |
| Rys. 32. Pozycja podczas wykonywania procedury farmakoterapia [opracowanie własne] ...                      | 81  |
| Rys. 33. Ocena REBA dla procedury dostęp naczyniowy [opracowanie własne].....                               | 81  |
| Rys. 34. Pozycja podczas wykonywania procedury dostęp naczyniowy [opracowanie własne]<br>.....              | 82  |
| Rys. 35. Struktura modelu rozmytego zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu (ZWDK) ....                        | 86  |
| Rys. 36. Postać implikacji dla submodelu określającego $WDK_{EMG}$ .....                                    | 99  |
| Rys. 37. Model heurystyczny Mamdaniego zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu - ZWDK<br>.....                 | 99  |
| Rys. 38. Składowe wejściowe dla submodelu wykorzystanego do symulacji $WDK_{EMG}$ .....                     | 100 |
| Rys. 39. Składowe wejściowe dla podmodelu wykorzystanego do symulacji $WDK_{MM\_B}$ ....                    | 100 |
| Rys. 40. Składowe wejściowe dla podmodelu wykorzystanego do symulacji $WDK_{MM\_SZ}$ ... 100                |     |
| Rys. 41. Składowe wejściowe dla podmodelu wykorzystanego do symulacji $WDK_{MM\_P}$ ....                    | 101 |
| Rys. 42. Submodel do symulacji $WDK_{EMG}$ .....  | 101 |
| Rys. 43. Funkcje przynależności dla zmiennej M1 .....   | 102 |
| Rys. 44. Poziomy wskaźnika $WDK_{EMG}$ .....  | 102 |
| Rys. 45. Podmodel Mamdaniego do symulacji $WDK_{MM\_B}$ .....   | 102 |
| Rys. 46. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej K1 .....  | 103 |
| Rys. 47. Poziomy wskaźnika $WDK_{MM\_B}$ .....  | 103 |
| Rys. 48. Podmodel do symulacji $WDK_{MM\_SZ}$ .....   | 103 |
| Rys. 49. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej K4 .....  | 104 |
| Rys. 50. Poziomy wskaźnika $WDK_{MM\_SZ}$ .....   | 104 |

|   |     |
|---|-----|
| Rys. 51. Podmodel Mamdaniego do symulacji $WDK_{MM\_P}$ .....   | 104 |
| Rys. 52. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej K7 .....  | 105 |
| Rys. 53. Poziomy wskaźnika $WDK_{MM\_P}$ .....  | 105 |
| Rys. 54. Model Mamdaniego do symulacji wskaźnika $WDK_{MM}$ .....   | 105 |
| Rys. 55. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej $WDK_{MM\_B}$ .....   | 106 |
| Rys. 56. Poziomy wskaźnika $WDK_{MM}$ .....   | 106 |
| Rys. 57. Model Mamdaniego do symulacji wskaźnika ZWDK.....  | 106 |
| Rys. 58. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej $WDK_{EMG}$ .....   | 107 |
| Rys. 59. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej $WDK_{MM}$ .....  | 107 |
| Rys. 60. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej czas T .....  | 108 |
| Rys. 61. Funkcje przynależności dla zmiennej wejściowej częstość występowania procedur medycznych CZ.....             | 108 |
| Rys. 62. Poziomy Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK .....  | 108 |
| Rys. 63. Poziom wskaźnika $WDK_{EMG}$ w funkcji napięcia mięśni M1 i M2.....  | 109 |
| Rys. 64. Przykład wizualizacji reguł implikacyjnych (od 1 do 10 oraz od 220 do 243) dla symulacji $WDK_{EMG}$ .....   | 109 |
| Rys. 65. Poziom wskaźnika $WDK_{MM\_B}$ w funkcji kątów K1 i K2.....  | 110 |
| Rys. 66. Poziom wskaźnika $WDK_{MM\_SZ}$ w funkcji kątów K4 i K5 .....  | 111 |
| Rys. 67. Poziom wskaźnika $WDK_{MM\_P}$ w funkcji kątów K7 i K8 .....   | 111 |
| Rys. 68. Wizualizacja reguł implikacyjnych dla $WDK_{MM\_B}$ .....  | 112 |
| Rys. 69. Wizualizacja reguł implikacyjnych dla $WDK_{MM\_SZ}$ .....   | 112 |
| Rys. 70. Wizualizacja reguł implikacyjnych dla $WDK_{MM\_P}$ .....  | 112 |
| Rys. 71. Wyniki symulacji ZWDK w zależności od $WDK_{MM}$ i $WDK_{EMG}$ .....   | 113 |
| Rys. 72. Przykłady wizualizacji reguł implikacyjnych (od 1 do 10 oraz od 120 do 144) dla symulacji $WDK_{ZWDK}$ ..... | 113 |



## Spis tabel

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1. Wykaz badanych mięśni.....  | 53 |
| Tabela 2. Maksymalny czas trwania skurczu mięśniowego [*].....  | 55 |
| Tabela 3. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury unieruchamianie kończyny dolnej .....  | 55 |
| Tabela 4. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury EKG .....  | 57 |
| Tabela 5. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury farmakoterapia .....   | 58 |
| Tabela 6. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury tlenoterapia .....   | 60 |
| Tabela 7. Spoczynkowe, maksymalne i średnie wartości RMS badanych mięśni podczas wykonywania procedury dostęp naczyniowy.....   | 61 |
| Tabela 8. Wykaz badanych kątów anatomicznych elementów ciała .....  | 65 |
| Tabela 9. Lista lokalizacji czujników.....  | 66 |
| Tabela 10. Normalne zakresy ruchu według Międzynarodowego Standardu Pomiaru Ortopedycznego (International Standard of Orthopedic Measurement – ISOM) .....  | 68 |
| Tabela 11. Wartości zmierzonych zakresów analizowanych ruchów dla poszczególnych procedur medycznych oraz przekroczenia normalnych zakresów ruchu dla wykonywanych procedur (ZW – zmierzone wartości, P - przekroczenia)..... | 69 |
| Tabela 12. Określenie poziomu ryzyka niezbędnych działań [59] .....   | 76 |
| Tabela 13. Określenie poziomu ryzyka podczas wykonywanych procedur według metody REBA .....   | 82 |
| Tabela 14. Przekroczenia normalnego zakresu kątownego w analizowanych stawach w odniesieniu do wykonywanych procedur .....  | 83 |
| Tabela 15. Nadmierne obciążone mięśnie w odniesieniu do wykonywanej procedury.....  | 84 |
| Tabela 16. Zakres zmian wartości analizowanych zmiennych wejściowych .....  | 87 |
| Tabela 17. Poziomy napięcia mięśniowego .....   | 88 |
| Tabela 18. Poziomy zakresów kątownych .....   | 88 |
| Tabela 19. Poziomy czasu trwania procedury.....   | 88 |
| Tabela 20. Poziomy częstości występowania procedury w ciągu roku .....  | 88 |
| Tabela 21. Poziomy wskaźnika $WDK_{EMG}$ .....  | 89 |
| Tabela 22. Wpływ napięcia poszczególnych mięśni na wielkość wskaźnika $WDK_{EMG}$ .....   | 89 |
| Tabela 23. Zakres poziomów oceny wskaźnika $WDK_{MM}$ .....   | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 24. Wpływ poszczególnych kątów stawu biodrowego na poziom wskaźnika dyskomfortu ( $WDK_{MM\_B}$ ) .....  | 91  |
| Tabela 25. Wpływ poszczególnych kątów w szyjnym odcinku kręgosłupa na poziom wskaźnika dyskomfortu ( $WDK_{MM\_SZ}$ ) .....                             | 92  |
| Tabela 26. Wpływ poszczególnych kątów w odcinku piersiowym kręgosłupa na poziom wskaźnika dyskomfortu ( $WDK_{MM\_P}$ ).....                            | 93  |
| Tabela 27. Wpływ poszczególnych wskaźników dyskomfortu: $WDK_{MM\_B}$ , $WDK_{MM\_SZ}$ , $WDK_{MM\_P}$ na poziom wskaźnika dyskomfortu $WDK_{MM}$ ..... | 94  |
| Tabela 28. Poziomy zmiennych wejściowych modelu zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu. ....  | 96  |
| Tabela 29. Skala ocen Zintegrowanego Wskaźnika Dyskomfortu ZWDK .....   | 97  |
| Tabela 30. Wpływ zmiennych wejściowych modelu na wartość oceny ZWDK.....  | 97  |
| Tabela 31. Wartości liczbowe zmiennych liczbowych do modelu oceny ZWDK.....   | 114 |
| Tabela 32. Ocena $WDK_{EMG}$ poszczególnych procedur.....   | 115 |
| Tabela 33. Ocena $WDK_{MM}$ poszczególnych procedur .....   | 115 |
| Tabela 34. Ocena ZWDK dla poszczególnych procedur .....   | 116 |
| Tabela 35. Źródła uciążliwości /obserwacja, ankiety/ .....  | 117 |

## Załącznik nr 1 – Ankieta

Ankieta jest ankietą anonimową. Uzyskane informacje posłużą wyłącznie do analizy zagrożeń i uciążliwości pracy na stanowisku pracy ratownika medycznego w ambulansie.

1. Jakie procedury medyczne są najczęściej (średnio) wykonywane przez Panią/Pana w karetce? /proszę podać w kolejności malejącej/
2. W jakiej pozycji wykonywane są przez Panią/Pana procedury medyczne podczas jazdy karetki?
3. Które z procedur łatwiej jest wykonywać w pozycji stojącej?
4. Czy w przypadku wykonywania procedur w pozycji stojącej jest Pani/Pan zabezpieczony przez upadkiem? Jeśli tak, to w jaki sposób?
5. Czy pozycja siedząca jest wygodna przy wykonywaniu procedur medycznych? Jeśli nie, to dlaczego?
6. Jakiego rodzaju utrudnienia towarzyszą wykonywaniu procedur medycznych w jadącej karetce?
7. Jakie dolegliwości bólowe towarzyszą Panu/Pani podczas pracy oraz po jej zakończeniu?
8. Wykonywanie których procedur medycznych jest dla Pani/Pana najbardziej uciążliwe?
9. Wykonywanie których procedur medycznych w karetce jest utrudnione ze względu na brak łatwego dostępu do wyposażenia/sprzętu?
10. Czy w każdej pozycji niezbędne wyposażenie medyczne są dla Pani/Pana dostępne? Jeśli nie, to proszę wymienić jakie?
11. Pyt. Dla osób leworęcznych- Czy klasyczne rozmieszczenie wyposażenia w karetce pogotowia jest dla Pani/Pana wygodne? Jeśli nie, to dlaczego?
12. Jakie udogodnienia/w tym dodatkowe wyposażenie/ według Pani/Pana podniosłoby komfort pracy w karetce pogotowia?
13. Czy podczas pracy w innym niż zwykle pojeździe odczuwa Pani/ Pan jakieś niedogodności/dyskomfort? Jeśli tak, to jakie?
14. Czy według Pani/Pana wskazana jest unifikacja rozmieszczenia podstawowych elementów wyposażenia w każdej karetce niezależnie od jej typu?
15. Proszę wymienić jakie modyfikacje struktury przestrzennej (wnętrza) karetki pogotowia podniosłoby Pani/Pana komfort pracy?
16. Czy oświetlenie w karetce jest wystarczające dla prowadzonych procedur medycznych?
17. Czy rozmieszczenie elementów wyposażenia w karetkach jest jednakowe, niezależnie od marki samochodu?

18. Jeśli rozmieszczenie jest niejednakowe to, ile czasu zajmuje Pani/Panu zapoznanie się z innym wnętrzem karetki?

## Załącznik nr 2 – Tabele stosowane do oceny ryzyka za pomocą metody REBA

Tabela A

|       |   | szyja |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
|-------|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|
|       |   | 1     |   |   |   | 2    |   |   |   | 3    |   |   |   |
|       |   | nogi  |   |   |   | nogi |   |   |   | nogi |   |   |   |
| plecy |   | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 |
|       | 1 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 3    | 3 | 5 | 6 |
| 2     | 2 | 3     | 4 | 5 | 3 | 4    | 5 | 6 | 4 | 5    | 6 | 7 |   |
| 3     | 2 | 4     | 5 | 6 | 4 | 5    | 6 | 7 | 5 | 6    | 7 | 8 |   |
| 4     | 3 | 5     | 6 | 7 | 5 | 6    | 7 | 8 | 6 | 7    | 8 | 9 |   |
| 5     | 4 | 6     | 7 | 8 | 6 | 7    | 8 | 9 | 7 | 8    | 9 | 9 |   |

Tabela B

| ramię |   | przedramię |   |   |            |   |   |
|-------|---|------------|---|---|------------|---|---|
|       |   | 1          |   |   | 2          |   |   |
|       |   | nadgarstek |   |   | nadgarstek |   |   |
|       |   | 1          | 2 | 3 | 1          | 2 | 3 |
| 1     | 1 | 2          | 2 | 1 | 2          | 3 |   |
| 2     | 1 | 2          | 3 | 2 | 3          | 4 |   |
| 3     | 3 | 4          | 5 | 4 | 5          | 5 |   |
| 4     | 4 | 5          | 5 | 5 | 6          | 7 |   |
| 5     | 6 | 7          | 8 | 7 | 8          | 8 |   |
| 6     | 7 | 8          | 8 | 8 | 9          | 9 |   |

Tabela C

|               |    | Ocena grupy B |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|----|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|               |    | 1             | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| Ocena grupy A | 1  | 1             | 1  | 1  | 2  | 3  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 7  | 7  |
|               | 2  | 1             | 2  | 2  | 3  | 4  | 4  | 5  | 6  | 6  | 7  | 7  | 8  |
|               | 3  | 2             | 3  | 3  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 7  | 8  | 8  | 8  |
|               | 4  | 3             | 4  | 4  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 8  | 9  | 9  | 9  |
|               | 5  | 4             | 4  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 8  | 9  | 9  | 9  | 9  |
|               | 6  | 6             | 6  | 6  | 7  | 8  | 8  | 9  | 9  | 10 | 10 | 10 | 10 |
|               | 7  | 7             | 7  | 7  | 8  | 9  | 9  | 9  | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 |
|               | 8  | 8             | 8  | 8  | 9  | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 |
|               | 9  | 9             | 9  | 9  | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 |
|               | 10 | 10            | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
|               | 11 | 11            | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
|               | 12 | 12            | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

### Załącznik nr 3 – Dane do budowy submodeli i modeli lingwistycznych zintegrowanego wskaźnika dyskomfortu

Wpływ napięcia poszczególnych mięśni na wielkość wskaźnika  $WDK_{EMG}$

| Lp. | Napięcie mięśnia prostownika grzbietu prawego - M1 | Napięcie mięśnia prostownika grzbietu lewego - M2 | Napięcie mięśnia prostownika części lędźwiowej prawego - M3 | Napięcie mięśnia prostownika części lędźwiowej lewego -M4 | Napięcie mięśnia szyjnego tylnego - M5 | $WDK_{EMG}$     |
|-----|--|---|---|---|--|-----------------|
| 1   | małe   | małe  | małe  | małe  | małe                                   | bardzo dobry    |
| 2   | małe   | małe  | małe  | małe  | średnie                                | bardzo dobry    |
| 3   | małe   | małe  | małe  | małe  | duże                                   | bardzo dobry    |
| 4   | małe   | małe  | małe  | średnie   | małe                                   | bardzo dobry    |
| 5   | małe   | małe  | małe  | średnie   | średnie                                | bardzo dobry    |
| 6   | małe   | małe  | małe  | średnie   | duże                                   | bardzo dobry    |
| 7   | małe   | małe  | małe  | duże  | małe                                   | dobry           |
| 8   | małe   | małe  | małe  | duże  | średnie                                | dobry           |
| 9   | małe   | małe  | małe  | duże  | duże                                   | dopuszczalny    |
| 10  | małe   | małe  | średnie   | małe  | małe                                   | bardzo dobry    |
| 11  | małe   | małe  | średnie   | małe  | średnie                                | bardzo dobry    |
| 12  | małe   | małe  | średnie   | małe  | duże                                   | bardzo dobry    |
| 13  | małe   | małe  | średnie   | średnie   | małe                                   | bardzo dobry    |
| 14  | małe   | małe  | średnie   | średnie   | średnie                                | bardzo dobry    |
| 15  | małe   | małe  | średnie   | średnie   | duże                                   | dobry           |
| 16  | małe   | małe  | średnie   | duże  | małe                                   | dobry           |
| 17  | małe   | małe  | średnie   | duże  | średnie                                | dopuszczalny    |
| 18  | małe   | małe  | średnie   | duże  | duże                                   | dopuszczalny    |
| 19  | małe   | małe  | duże  | małe  | małe                                   | dobry           |
| 20  | małe   | małe  | duże  | małe  | średnie                                | dobry           |
| 21  | małe   | małe  | duże  | małe  | duże                                   | dopuszczalny    |
| 22  | małe   | małe  | duże  | średnie   | małe                                   | dobry           |
| 23  | małe   | małe  | duże  | średnie   | średnie                                | dopuszczalny    |
| 24  | małe   | małe  | duże  | średnie   | duże                                   | dopuszczalny    |
| 25  | małe   | małe  | duże  | duże  | małe                                   | dopuszczalny    |
| 26  | małe   | małe  | duże  | duże  | średnie                                | niedopuszczalny |
| 27  | małe   | małe  | duże  | duże  | duże                                   | niedopuszczalny |
| 28  | małe   | średnie   | małe  | małe  | małe                                   | bardzo dobry    |
| 29  | małe   | średnie   | małe  | małe  | średnie                                | bardzo dobry    |
| 30  | małe   | średnie   | małe  | małe  | duże                                   | bardzo dobry    |
| 31  | małe   | średnie   | małe  | średnie   | małe                                   | bardzo dobry    |
| 32  | małe   | średnie   | małe  | średnie   | średnie                                | bardzo dobry    |
| 33  | małe   | średnie   | małe  | średnie   | duże                                   | dobry           |
| 34  | małe   | średnie   | małe  | duże  | małe                                   | dopuszczalny    |

|    |      |         |         |         |         |                 |
|----|------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| 35 | małe | średnie | małe    | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 36 | małe | średnie | małe    | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 37 | małe | średnie | średnie | małe    | małe    | dobry           |
| 38 | małe | średnie | średnie | małe    | średnie | dobry           |
| 39 | małe | średnie | średnie | małe    | duże    | dobry           |
| 40 | małe | średnie | średnie | średnie | małe    | dobry           |
| 41 | małe | średnie | średnie | średnie | średnie | dobry           |
| 42 | małe | średnie | średnie | średnie | duże    | dobry           |
| 43 | małe | średnie | średnie | duże    | małe    | dobry           |
| 44 | małe | średnie | średnie | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 45 | małe | średnie | średnie | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 46 | małe | średnie | duże    | małe    | małe    | dopuszczalny    |
| 47 | małe | średnie | duże    | małe    | średnie | dopuszczalny    |
| 48 | małe | średnie | duże    | małe    | duże    | dopuszczalny    |
| 49 | małe | średnie | duże    | średnie | małe    | dobry           |
| 50 | małe | średnie | duże    | średnie | średnie | dopuszczalny    |
| 51 | małe | średnie | duże    | średnie | duże    | dopuszczalny    |
| 52 | małe | średnie | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 53 | małe | średnie | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 54 | małe | średnie | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 55 | małe | duże    | małe    | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 56 | małe | duże    | małe    | małe    | średnie | bardzo dobry    |
| 57 | małe | duże    | małe    | małe    | duże    | bardzo dobry    |
| 58 | małe | duże    | małe    | średnie | małe    | bardzo dobry    |
| 59 | małe | duże    | małe    | średnie | średnie | dobry           |
| 60 | małe | duże    | małe    | średnie | duże    | dobry           |
| 61 | małe | duże    | małe    | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 62 | małe | duże    | małe    | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 63 | małe | duże    | małe    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 64 | małe | duże    | średnie | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 65 | małe | duże    | średnie | małe    | średnie | dobry           |
| 66 | małe | duże    | średnie | małe    | duże    | dopuszczalny    |
| 67 | małe | duże    | średnie | średnie | małe    | dobry           |
| 68 | małe | duże    | średnie | średnie | średnie | dobry           |
| 69 | małe | duże    | średnie | średnie | duże    | dopuszczalny    |
| 70 | małe | duże    | średnie | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 71 | małe | duże    | średnie | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 72 | małe | duże    | średnie | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 73 | małe | duże    | duże    | małe    | małe    | dopuszczalny    |
| 74 | małe | duże    | duże    | małe    | średnie | dopuszczalny    |
| 75 | małe | duże    | duże    | małe    | duże    | niedopuszczalny |
| 76 | małe | duże    | duże    | średnie | małe    | niedopuszczalny |
| 77 | małe | duże    | duże    | średnie | średnie | niedopuszczalny |
| 78 | małe | duże    | duże    | średnie | duże    | niedopuszczalny |
| 79 | małe | duże    | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 80 | małe | duże    | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |

|     |         |         |         |         |         |                 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| 81  | małe    | duże    | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 82  | średnie | małe    | małe    | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 83  | średnie | małe    | małe    | małe    | średnie | bardzo dobry    |
| 84  | średnie | małe    | małe    | małe    | duże    | bardzo dobry    |
| 85  | średnie | małe    | małe    | średnie | małe    | bardzo dobry    |
| 86  | średnie | małe    | małe    | średnie | średnie | bardzo dobry    |
| 87  | średnie | małe    | małe    | średnie | duże    | dobry           |
| 88  | średnie | małe    | małe    | duże    | małe    | dobry           |
| 89  | średnie | małe    | małe    | duże    | średnie | dobry           |
| 90  | średnie | małe    | małe    | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 91  | średnie | małe    | średnie | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 92  | średnie | małe    | średnie | małe    | średnie | bardzo dobry    |
| 93  | średnie | małe    | średnie | małe    | duże    | bardzo dobry    |
| 94  | średnie | małe    | średnie | średnie | małe    | dobry           |
| 95  | średnie | małe    | średnie | średnie | średnie | dobry           |
| 96  | średnie | małe    | średnie | średnie | duże    | dobry           |
| 97  | średnie | małe    | średnie | duże    | małe    | dobry           |
| 98  | średnie | małe    | średnie | duże    | średnie | dobry           |
| 99  | średnie | małe    | średnie | duże    | duże    | dobry           |
| 100 | średnie | małe    | duże    | małe    | małe    | dobry           |
| 101 | średnie | małe    | duże    | małe    | średnie | dobry           |
| 102 | średnie | małe    | duże    | małe    | duże    | dobry           |
| 103 | średnie | małe    | duże    | średnie | małe    | dobry           |
| 104 | średnie | małe    | duże    | średnie | średnie | dobry           |
| 105 | średnie | małe    | duże    | średnie | duże    | dobry           |
| 106 | średnie | małe    | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 107 | średnie | małe    | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 108 | średnie | małe    | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 109 | średnie | średnie | małe    | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 110 | średnie | średnie | małe    | małe    | średnie | bardzo dobry    |
| 111 | średnie | średnie | małe    | małe    | duże    | dobry           |
| 112 | średnie | średnie | małe    | średnie | małe    | bardzo dobry    |
| 113 | średnie | średnie | małe    | średnie | średnie | bardzo dobry    |
| 114 | średnie | średnie | małe    | średnie | duże    | dobry           |
| 115 | średnie | średnie | małe    | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 116 | średnie | średnie | małe    | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 117 | średnie | średnie | małe    | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 118 | średnie | średnie | średnie | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 119 | średnie | średnie | średnie | małe    | średnie | dobry           |
| 120 | średnie | średnie | średnie | małe    | duże    | dobry           |
| 121 | średnie | średnie | średnie | średnie | małe    | bardzo dobry    |
| 122 | średnie | średnie | średnie | średnie | średnie | dobry           |
| 123 | średnie | średnie | średnie | średnie | duże    | dobry           |
| 124 | średnie | średnie | średnie | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 125 | średnie | średnie | średnie | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 126 | średnie | średnie | średnie | duże    | duże    | dopuszczalny    |



|     |         |         |         |         |         |                 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| 127 | średnie | średnie | duże    | małe    | małe    | dopuszczalny    |
| 128 | średnie | średnie | duże    | małe    | średnie | dopuszczalny    |
| 129 | średnie | średnie | duże    | małe    | duże    | dopuszczalny    |
| 130 | średnie | średnie | duże    | średnie | małe    | dopuszczalny    |
| 131 | średnie | średnie | duże    | średnie | średnie | dopuszczalny    |
| 132 | średnie | średnie | duże    | średnie | duże    | niedopuszczalny |
| 133 | średnie | średnie | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 134 | średnie | średnie | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 135 | średnie | średnie | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 136 | średnie | duże    | małe    | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 137 | średnie | duże    | małe    | małe    | średnie | dobry           |
| 138 | średnie | duże    | małe    | małe    | duże    | dobry           |
| 139 | średnie | duże    | małe    | średnie | małe    | dobry           |
| 140 | średnie | duże    | małe    | średnie | średnie | dobry           |
| 141 | średnie | duże    | małe    | średnie | duże    | dobry           |
| 142 | średnie | duże    | małe    | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 143 | średnie | duże    | małe    | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 144 | średnie | duże    | małe    | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 145 | średnie | duże    | średnie | małe    | małe    | dobry           |
| 146 | średnie | duże    | średnie | małe    | średnie | dobry           |
| 147 | średnie | duże    | średnie | małe    | duże    | dobry           |
| 148 | średnie | duże    | średnie | średnie | małe    | dobry           |
| 149 | średnie | duże    | średnie | średnie | średnie | dobry           |
| 150 | średnie | duże    | średnie | średnie | duże    | dobry           |
| 151 | średnie | duże    | średnie | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 152 | średnie | duże    | średnie | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 153 | średnie | duże    | średnie | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 154 | średnie | duże    | duże    | małe    | małe    | dopuszczalny    |
| 155 | średnie | duże    | duże    | małe    | średnie | dopuszczalny    |
| 156 | średnie | duże    | duże    | małe    | duże    | dopuszczalny    |
| 157 | średnie | duże    | duże    | średnie | małe    | dopuszczalny    |
| 158 | średnie | duże    | duże    | średnie | średnie | dopuszczalny    |
| 159 | średnie | duże    | duże    | średnie | duże    | dopuszczalny    |
| 160 | średnie | duże    | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 161 | średnie | duże    | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 162 | średnie | duże    | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 163 | duże    | małe    | małe    | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 164 | duże    | małe    | małe    | małe    | średnie | bardzo dobry    |
| 165 | duże    | małe    | małe    | małe    | duże    | dobry           |
| 166 | duże    | małe    | małe    | średnie | małe    | dobry           |
| 167 | duże    | małe    | małe    | średnie | średnie | dobry           |
| 168 | duże    | małe    | małe    | średnie | duże    | dobry           |
| 169 | duże    | małe    | małe    | duże    | małe    | dobry           |
| 170 | duże    | małe    | małe    | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 171 | duże    | małe    | małe    | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 172 | duże    | małe    | średnie | małe    | małe    | bardzo dobry    |

|     |      |         |         |         |         |                 |
|-----|------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| 173 | duże | małe    | średnie | małe    | średnie | dobry           |
| 174 | duże | małe    | średnie | małe    | duże    | dobry           |
| 175 | duże | małe    | średnie | średnie | małe    | dobry           |
| 176 | duże | małe    | średnie | średnie | średnie | dobry           |
| 177 | duże | małe    | średnie | średnie | duże    | dobry           |
| 178 | duże | małe    | średnie | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 179 | duże | małe    | średnie | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 180 | duże | małe    | średnie | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 181 | duże | małe    | duże    | małe    | małe    | dopuszczalny    |
| 182 | duże | małe    | duże    | małe    | średnie | Dopuszczalny    |
| 183 | duże | małe    | duże    | małe    | duże    | Dopuszczalny    |
| 184 | duże | małe    | duże    | średnie | małe    | dopuszczalny    |
| 185 | duże | małe    | duże    | średnie | średnie | dopuszczalny    |
| 186 | duże | małe    | duże    | średnie | duże    | niedopuszczalny |
| 187 | duże | małe    | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 188 | duże | małe    | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 189 | duże | małe    | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 190 | duże | średnie | małe    | małe    | małe    | bardzo dobry    |
| 191 | duże | średnie | małe    | małe    | średnie | bardzo dobry    |
| 192 | duże | średnie | małe    | małe    | duże    | dobry           |
| 193 | duże | średnie | małe    | średnie | małe    | dobry           |
| 194 | duże | średnie | małe    | średnie | średnie | dobry           |
| 195 | duże | średnie | małe    | średnie | duże    | dobry           |
| 196 | duże | średnie | małe    | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 197 | duże | średnie | małe    | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 198 | duże | średnie | małe    | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 199 | duże | średnie | średnie | małe    | małe    | dobry           |
| 200 | duże | średnie | średnie | małe    | średnie | dobry           |
| 201 | duże | średnie | średnie | małe    | duże    | dobry           |
| 202 | duże | średnie | średnie | średnie | małe    | dobry           |
| 203 | duże | średnie | średnie | średnie | średnie | dobry           |
| 204 | duże | średnie | średnie | średnie | duże    | dobry           |
| 205 | duże | średnie | średnie | duże    | małe    | dopuszczalny    |
| 206 | duże | średnie | średnie | duże    | średnie | dopuszczalny    |
| 207 | duże | średnie | średnie | duże    | duże    | dopuszczalny    |
| 208 | duże | średnie | duże    | małe    | małe    | dopuszczalny    |
| 209 | duże | średnie | duże    | małe    | średnie | dopuszczalny    |
| 210 | duże | średnie | duże    | małe    | duże    | dopuszczalny    |
| 211 | duże | średnie | duże    | średnie | małe    | dopuszczalny    |
| 212 | duże | średnie | duże    | średnie | średnie | dopuszczalny    |
| 213 | duże | średnie | duże    | średnie | duże    | dopuszczalny    |
| 214 | duże | średnie | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 215 | duże | średnie | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 216 | duże | średnie | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 217 | duże | duże    | małe    | małe    | małe    | dobry           |
| 218 | duże | duże    | małe    | małe    | średnie | dopuszczalny    |

|     |      |      |         |         |         |                 |
|-----|------|------|---------|---------|---------|-----------------|
| 219 | duże | duże | małe    | małe    | duże    | dopuszczalny    |
| 220 | duże | duże | małe    | średnie | małe    | dopuszczalny    |
| 221 | duże | duże | małe    | średnie | średnie | dopuszczalny    |
| 222 | duże | duże | małe    | średnie | duże    | dopuszczalny    |
| 223 | duże | duże | małe    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 224 | duże | duże | małe    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 225 | duże | duże | małe    | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 226 | duże | duże | średnie | małe    | małe    | dopuszczalny    |
| 227 | duże | duże | średnie | małe    | średnie | dopuszczalny    |
| 228 | duże | duże | średnie | małe    | duże    | dopuszczalny    |
| 229 | duże | duże | średnie | średnie | małe    | dobry           |
| 230 | duże | duże | średnie | średnie | średnie | dopuszczalny    |
| 231 | duże | duże | średnie | średnie | duże    | dopuszczalny    |
| 232 | duże | duże | średnie | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 233 | duże | duże | średnie | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 234 | duże | duże | średnie | duże    | duże    | niedopuszczalny |
| 235 | duże | duże | duże    | małe    | małe    | niedopuszczalny |
| 236 | duże | duże | duże    | małe    | średnie | niedopuszczalny |
| 237 | duże | duże | duże    | małe    | duże    | niedopuszczalny |
| 238 | duże | duże | duże    | średnie | małe    | niedopuszczalny |
| 239 | duże | duże | duże    | średnie | średnie | niedopuszczalny |
| 240 | duże | duże | duże    | średnie | duże    | niedopuszczalny |
| 241 | duże | duże | duże    | duże    | małe    | niedopuszczalny |
| 242 | duże | duże | duże    | duże    | średnie | niedopuszczalny |
| 243 | duże | duże | duże    | duże    | duże    | niedopuszczalny |

Wpływ zmiennych wejściowych modelu na wartość oceny ZWDK

| Lp. | Poziom wskaźnika dyskomfortu WDK <sub>EKG</sub> | Poziom wskaźnika dyskomfortu WDK <sub>MM</sub> | Czas trwania procedury | Częstość występowania w trakcie dyżuru | Ocena ZWDK             |
|-----|---|--|------------------------|--|------------------------|
| 1   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | długi                  | duża                                   | niedopuszczalna        |
| 2   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | długi                  | średnia                                | niedopuszczalna        |
| 3   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | długi                  | mała                                   | mniej niż dopuszczalna |
| 4   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | średni                 | duża                                   | niedopuszczalna        |
| 5   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | średni                 | średnia                                | mniej niż dopuszczalna |
| 6   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | średni                 | mała                                   | mniej niż dopuszczalna |
| 7   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | krótki                 | duża                                   | niedopuszczalna        |
| 8   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | krótki                 | średnia                                | niedopuszczalna        |
| 9   | niedopuszczalna                                 | niedopuszczalna                                | krótki                 | mała                                   | mniej niż dopuszczalna |
| 10  | niedopuszczalna                                 | dopuszczalna                                   | długi                  | duża                                   | niedopuszczalna        |
| 11  | niedopuszczalna                                 | dopuszczalna                                   | długi                  | średnia                                | mniej niż dopuszczalna |
| 12  | niedopuszczalna                                 | dopuszczalna                                   | długi                  | mała                                   | mniej niż dopuszczalna |

|    |                 |                 |        |         |                         |
|----|-----------------|-----------------|--------|---------|-------------------------|
| 13 | niedopuszczalna | dopuszczalna    | średni | duża    | niedopuszczalna         |
| 14 | niedopuszczalna | dopuszczalna    | średni | średnia | niedopuszczalna         |
| 15 | niedopuszczalna | dopuszczalna    | średni | mała    | dopuszczalna            |
| 16 | niedopuszczalna | dopuszczalna    | krótki | duża    | niedopuszczalna         |
| 17 | niedopuszczalna | dopuszczalna    | krótki | średnia | dopuszczalna            |
| 18 | niedopuszczalna | dopuszczalna    | krótki | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 19 | niedopuszczalna | dobra           | długi  | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 20 | niedopuszczalna | dobra           | długi  | średnia | dopuszczalna            |
| 21 | niedopuszczalna | dobra           | długi  | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 22 | niedopuszczalna | dobra           | średni | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 23 | niedopuszczalna | dobra           | średni | średnia | dobra                   |
| 24 | niedopuszczalna | dobra           | średni | mała    | dobra                   |
| 25 | niedopuszczalna | dobra           | krótki | duża    | dopuszczalna            |
| 26 | niedopuszczalna | dobra           | krótki | średnia | więcej niż dopuszczalna |
| 27 | niedopuszczalna | dobra           | krótki | mała    | dobra                   |
| 28 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | długi  | duża    | niedopuszczalna         |
| 29 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | długi  | średnia | mniej niż dopuszczalna  |
| 30 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | długi  | mała    | mniej niż dopuszczalna  |
| 31 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | średni | duża    | mniej niż dopuszczalna  |
| 32 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | średni | średnia | dopuszczalna            |
| 33 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | średni | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 34 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | krótki | duża    | dopuszczalna            |
| 35 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | krótki | średnia | dopuszczalna            |
| 36 | niedopuszczalna | bardzo dobra    | krótki | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 37 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | długi  | duża    | niedopuszczalna         |
| 38 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | długi  | średnia | mniej niż dopuszczalna  |
| 39 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | długi  | mała    | mniej niż dopuszczalna  |
| 40 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | średni | duża    | niedopuszczalna         |
| 41 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | średni | średnia | mniej niż dopuszczalna  |
| 42 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | średni | mała    | dopuszczalna            |
| 43 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | krótki | duża    | mniej niż dopuszczalna  |
| 44 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | krótki | średnia | dopuszczalna            |
| 45 | dopuszczalna    | niedopuszczalna | krótki | mała    | dopuszczalna            |
| 46 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | długi  | duża    | mniej niż dopuszczalna  |
| 47 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | długi  | średnia | dopuszczalna            |
| 48 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | długi  | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 49 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | średni | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 50 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | średni | średnia | dobra                   |
| 51 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | średni | mała    | dobra                   |
| 52 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | krótki | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 53 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | krótki | średnia | więcej niż dopuszczalna |
| 54 | dopuszczalna    | dopuszczalna    | krótki | mała    | więcej niż dopuszczalna |

|    |              |                 |        |         |                         |
|----|--------------|-----------------|--------|---------|-------------------------|
| 55 | dopuszczalna | dobra           | długi  | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 56 | dopuszczalna | dobra           | długi  | średnia | dobra                   |
| 57 | dopuszczalna | dobra           | długi  | mała    | dobra                   |
| 58 | dopuszczalna | dobra           | średni | duża    | dobra                   |
| 59 | dopuszczalna | dobra           | średni | średnia | dobra                   |
| 60 | dopuszczalna | dobra           | średni | mała    | więcej niż dobra        |
| 61 | dopuszczalna | dobra           | krótki | duża    | dobra                   |
| 62 | dopuszczalna | dobra           | krótki | średnia | więcej niż dobra        |
| 63 | dopuszczalna | dobra           | krótki | mała    | więcej niż dobra        |
| 64 | dopuszczalna | bardzo dobra    | długi  | duża    | dobra                   |
| 65 | dopuszczalna | bardzo dobra    | długi  | średnia | więcej niż dobra        |
| 66 | dopuszczalna | bardzo dobra    | długi  | mała    | więcej niż dobra        |
| 67 | dopuszczalna | bardzo dobra    | średni | duża    | dobra                   |
| 68 | dopuszczalna | bardzo dobra    | średni | średnia | dobra                   |
| 69 | dopuszczalna | bardzo dobra    | średni | mała    | bardzo dobra            |
| 70 | dopuszczalna | bardzo dobra    | krótki | duża    | dobra                   |
| 71 | dopuszczalna | bardzo dobra    | krótki | średnia | więcej niż dobra        |
| 72 | dopuszczalna | bardzo dobra    | krótki | mała    | bardzo dobra            |
| 73 | dobra        | niedopuszczalna | długi  | duża    | mniej niż dopuszczalna  |
| 74 | dobra        | niedopuszczalna | długi  | średnia | dopuszczalna            |
| 75 | dobra        | niedopuszczalna | długi  | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 76 | dobra        | niedopuszczalna | średni | duża    | dopuszczalna            |
| 77 | dobra        | niedopuszczalna | średni | średnia | dopuszczalna            |
| 78 | dobra        | niedopuszczalna | średni | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 79 | dobra        | niedopuszczalna | krótki | duża    | dopuszczalna            |
| 80 | dobra        | niedopuszczalna | krótki | średnia | więcej niż dopuszczalna |
| 81 | dobra        | niedopuszczalna | krótki | mała    | dobra                   |
| 82 | dobra        | dopuszczalna    | długi  | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 83 | dobra        | dopuszczalna    | długi  | średnia | dobra                   |
| 84 | dobra        | dopuszczalna    | długi  | mała    | dobra                   |
| 85 | dobra        | dopuszczalna    | średni | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 86 | dobra        | dopuszczalna    | średni | średnia | dobra                   |
| 87 | dobra        | dopuszczalna    | średni | mała    | więcej niż dobra        |
| 88 | dobra        | dopuszczalna    | krótki | duża    | więcej niż dopuszczalna |
| 89 | dobra        | dopuszczalna    | krótki | średnia | dobra                   |
| 90 | dobra        | dopuszczalna    | krótki | mała    | więcej niż dobra        |
| 91 | dobra        | dobra           | długi  | duża    | dobra                   |
| 92 | dobra        | dobra           | długi  | średnia | dobra                   |
| 93 | dobra        | dobra           | długi  | mała    | więcej niż dobra        |
| 94 | dobra        | dobra           | średni | duża    | dobra                   |
| 95 | dobra        | dobra           | średni | średnia | więcej niż dobra        |
| 96 | dobra        | dobra           | średni | mała    | bardzo dobra            |

|     |              |                 |        |         |                         |
|-----|--------------|-----------------|--------|---------|-------------------------|
| 97  | dobra        | dobra           | krótki | duża    | więcej niż dobra        |
| 98  | dobra        | dobra           | krótki | średnia | bardzo dobra            |
| 99  | dobra        | dobra           | krótki | mała    | bardzo dobra            |
| 100 | dobra        | bardzo dobra    | długi  | duża    | dobra                   |
| 101 | dobra        | bardzo dobra    | długi  | średnia | więcej niż dobra        |
| 102 | dobra        | bardzo dobra    | długi  | mała    | więcej niż dobra        |
| 103 | dobra        | bardzo dobra    | średni | duża    | więcej niż dobra        |
| 104 | dobra        | bardzo dobra    | średni | średnia | więcej niż dobra        |
| 105 | dobra        | bardzo dobra    | średni | mała    | bardzo dobra            |
| 106 | dobra        | bardzo dobra    | krótki | duża    | więcej niż dobra        |
| 107 | dobra        | bardzo dobra    | krótki | średnia | bardzo dobra            |
| 108 | dobra        | bardzo dobra    | krótki | mała    | bardzo dobra            |
| 109 | bardzo dobra | niedopuszczalna | długi  | duża    | dopuszczalna            |
| 110 | bardzo dobra | niedopuszczalna | długi  | średnia | dopuszczalna            |
| 111 | bardzo dobra | niedopuszczalna | długi  | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 112 | bardzo dobra | niedopuszczalna | średni | duża    | dopuszczalna            |
| 113 | bardzo dobra | niedopuszczalna | średni | średnia | dopuszczalna            |
| 114 | bardzo dobra | niedopuszczalna | średni | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 115 | bardzo dobra | niedopuszczalna | krótki | duża    | dopuszczalna            |
| 116 | bardzo dobra | niedopuszczalna | krótki | średnia | dopuszczalna            |
| 117 | bardzo dobra | niedopuszczalna | krótki | mała    | więcej niż dopuszczalna |
| 118 | bardzo dobra | dopuszczalna    | długi  | duża    | dobra                   |
| 119 | bardzo dobra | dopuszczalna    | długi  | średnia | dobra                   |
| 120 | bardzo dobra | dopuszczalna    | długi  | mała    | więcej niż dobra        |
| 121 | bardzo dobra | dopuszczalna    | średni | duża    | dobra                   |
| 122 | bardzo dobra | dopuszczalna    | średni | średnia | więcej niż dobra        |
| 123 | bardzo dobra | dopuszczalna    | średni | mała    | więcej niż dobra        |
| 124 | bardzo dobra | dopuszczalna    | krótki | duża    | dobra                   |
| 125 | bardzo dobra | dopuszczalna    | krótki | średnia | więcej niż dobra        |
| 126 | bardzo dobra | dopuszczalna    | krótki | mała    | więcej niż dobra        |
| 127 | bardzo dobra | dobra           | długi  | duża    | dobra                   |
| 128 | bardzo dobra | dobra           | długi  | średnia | dobra                   |
| 129 | bardzo dobra | dobra           | długi  | mała    | dobra                   |
| 130 | bardzo dobra | dobra           | średni | duża    | więcej niż dobra        |
| 131 | bardzo dobra | dobra           | średni | średnia | więcej niż dobra        |
| 132 | bardzo dobra | dobra           | średni | mała    | więcej niż dobra        |
| 133 | bardzo dobra | dobra           | krótki | duża    | dobra                   |
| 134 | bardzo dobra | dobra           | krótki | średnia | bardzo dobra            |
| 135 | bardzo dobra | dobra           | krótki | mała    | bardzo dobra            |
| 136 | bardzo dobra | bardzo dobra    | długi  | duża    | więcej niż dobra        |
| 137 | bardzo dobra | bardzo dobra    | długi  | średnia | bardzo dobra            |
| 138 | bardzo dobra | bardzo dobra    | długi  | mała    | bardzo dobra            |

|     |              |              |        |         |              |
|-----|--------------|--------------|--------|---------|--------------|
| 139 | bardzo dobra | bardzo dobra | średni | duża    | bardzo dobra |
| 140 | bardzo dobra | bardzo dobra | średni | średnia | bardzo dobra |
| 141 | bardzo dobra | bardzo dobra | średni | mała    | bardzo dobra |
| 142 | bardzo dobra | bardzo dobra | krótki | duża    | bardzo dobra |
| 143 | bardzo dobra | bardzo dobra | krótki | średnia | bardzo dobra |
| 144 | bardzo dobra | bardzo dobra | krótki | mała    | bardzo dobra |