



Politechnika Wrocławska

DZIEDZINA: nauk inżynieryjno-technicznych

DYSCYPLINA: inżynieria mechaniczna

ROZPRAWA DOKTORSKA

Model oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym

Mgr inż. Ewa Mardeusz

Promotor / Promotorzy:

dr hab. inż. Artur Kierzkowski, prof. uczelni

Promotor pomocniczy:

dr inż. Tomasz Kisiel

Słowa kluczowe: obsługa naziemna, logika rozmyta, ocena systemów antropotechnicznych

WROCŁAW 2026

Spis treści

| | |
|--|----|
| Streszczenie | 6 |
| Abstract..... | 6 |
| Wykaz ważniejszych oznaczeń..... | 7 |
| Wstęp | 9 |
| 1. Proces obsługi naziemnej statku powietrznego | 11 |
| 1.1. Definicja i istota procesu obsługi naziemnej statku powietrznego..... | 11 |
| 1.2. Charakterystyka procesów obsługi naziemnej statku powietrznego | 12 |
| 1.3. Uwarunkowania prawne obsługi naziemnej statku powietrznego | 14 |
| 2. System i proces obsługi naziemnej w ujęciu teorii systemu | 16 |
| 2.1. Pojęcie systemu | 16 |
| 2.2. Pojęcie systemu eksploatacji obiektu technicznego | 19 |
| 3. Stan wiedzy w zakresie oceny eksploatacji systemów technicznych i procesów obsługi naziemnej..... | 26 |
| 3.1. Stan wiedzy w zakresie oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych | 26 |
| 3.1.1. Modele markowa obiektów technicznych | 27 |
| 3.1.2. Zbiory rozmyte w ocenie obiektów technicznych..... | 28 |
| 3.1.3. Odporność obiektów technicznych..... | 30 |
| 3.1.4. Analityczny proces hierarchiczny obiektów technicznych | 31 |
| 3.1.5. Narzędzia prognostyczne w ocenie obiektów technicznych | 32 |
| 3.1.6. Algorytmy oceny obiektów technicznych..... | 33 |
| 3.1.7. Modelowanie procesów eksploatacji obiektów technicznych..... | 34 |
| 3.1.8. Ocena cyklu życia obiektów technicznych..... | 36 |
| 3.1.9. Analiza ryzyka..... | 37 |
| 3.1.10. Pozostałe podejścia w zakresie oceny funkcjonowania obiektów technicznych..... | 38 |
| 3.2. Stan wiedzy w zakresie oceny procesów obsługi naziemnej | 39 |
| 3.2.1. Projektowanie procesów obsługi naziemnej | 40 |
| 3.2.2. Wydajność procesów obsługi naziemnej..... | 42 |
| 3.2.3. Problem trasowania i harmonogramowania procesów obsługi naziemnej.... | 45 |
| 3.2.4. Modelowanie procesów obsługi naziemnej..... | 47 |
| 3.2.5. Planowanie procesów obsługi naziemnej | 50 |
| 3.2.6. Czynniki ludzkie w procesie obsługi naziemnej | 53 |
| 3.3. Podsumowanie przeglądu literatury | 54 |
| 4. Cel i zakres pracy | 56 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 5. | Model oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym | 58 |
| 5.1. | Akwizycja danych dla modelu oceny procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym..... | 59 |
| 5.1.1. | Akwizycja danych dla modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych | 59 |
| 5.1.2. | Akwizycja danych dla modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych..... | 60 |
| 5.2. | Parametry modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym | 64 |
| 5.2.1. | Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności | 64 |
| 5.2.2. | Czas trwania czynności | 66 |
| 5.2.3. | Wskaźnik czasu trwania czynności | 68 |
| 5.2.4. | Terminowość zatrzymania statku powietrznego | 69 |
| 5.2.5. | Gotowość | 71 |
| 5.2.6. | Ocena procesu obsługi naziemnej statku powietrznego | 75 |
| 5.3. | Struktura modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczy..... | 76 |
| 5.3.1. | Struktura modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym | 78 |
| 5.3.1.1. | Model oceny czynności procesów obsługi naziemnej | 80 |
| 5.3.1.2. | Model oceny przygotowania i wypychania statku powietrznego | 82 |
| 5.3.1.3. | Model oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej statku powietrznego | 91 |
| 5.3.1.4. | Model oceny procesu obsługi technicznej statku powietrznego..... | 104 |
| 5.3.2. | Struktura modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym | 121 |
| 6. | Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym | 123 |
| 6.1. | Wyznaczenie granic funkcji przynależności | 123 |
| 6.2. | Model oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym | 133 |
| 7. | Aplikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym | 137 |
| 7.1. | Scenariusz 1 | 138 |
| 7.2. | Scenariusz 2 | 142 |
| 7.3. | Scenariusz 3 | 146 |
| | Podsumowanie i wnioski | 152 |

| | |
|---------------------|-----|
| Bibliografia | 154 |
| Spis rysunków | 173 |
| Spis tabel..... | 175 |
| Załączniki..... | 178 |

STRESZCZENIE

Zwiększające się zapotrzebowanie na lotniskowe usługi transportowe determinuje konieczność opracowywania rozwiązań skupiających się na zapewnieniu odpowiedniej infrastruktury i narzędzi umożliwiających realizację zadań zgodnie z założonymi rozkładami lotów. Istotną rolę w tym zakresie odgrywa proces obsługi naziemnej, który koncentruje się na zapewnieniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa i efektywności operacyjnej. Osiągnięcie tych celów wymaga analizy i identyfikacji jego kluczowych elementów. Pomimo istotnego rozwoju badań w zakresie systemów antropotechnicznych identyfikują się lukę teoretyczno-poznawczą dotyczącą możliwości oceny procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym.

Celem pracy jest opracowanie modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. Tematyka badań, podjęta w ramach rozprawy, dotyczy modelowania eksploatacji obiektów technicznych w porcie lotniczym z uwzględnieniem ich niezawodności oraz wpływu czynnika ludzkiego. Proponowane podejście umożliwia kompleksową ocenę procesu na poziomie operacyjnym i taktycznym funkcjonowania portu lotniczego. Opracowany model pozwala na identyfikację obszarów, które w porcie lotniczym wymagają usprawnienia. Uzyskane rezultaty przyczyniają się do pogłębienia wiedzy w zakresie oceny procesów eksploatacji obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

ABSTRACT

The growing demand for airport transportation services necessitates the development of solutions focused on providing the appropriate infrastructure and tools to ensure that tasks are carried out in accordance with scheduled flight plans. Ground handling plays a significant role in this regard, as it focuses on ensuring a high level of safety and operational efficiency. Achieving these goals requires the analysis and identification of its key elements. Despite significant advances in research on anthropotechnical systems, a theoretical and epistemological gap has been identified regarding the ability to evaluate the aircraft ground handling process at an airport.

The aim of this thesis is to develop a model for evaluating the ground handling process of aircraft at an airport. The research topic addressed in this thesis concerns the modeling of the operation of technical facilities at an airport, taking into account their reliability and the influence of the human factor. The proposed approach enables a comprehensive evaluation of the process at the operational and tactical levels of airport operations. The developed model allows for the identification of areas within the airport that require improvement. The results obtained contribute to a deeper understanding of the evaluation of aircraft ground handling processes at an airport.

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- POUN* – proces podłączania urządzeń obsługi naziemnej
OUON – proces odłączania urządzeń obsługi naziemnej
WSP – proces wypychania statku powietrznego
DSP – proces deboardingu statku powietrznego
BSP – proces boardingu statku powietrznego
RSP – proces rozładunku statku powietrznego
ZaSP – proces załadunku statku powietrznego
OTSP – obsługa toalet statku powietrznego
OWSP – obsługa wody statku powietrznego
ONCR – najwcześniejsza możliwa chwila rozpoczęcia czynności
WT – wskaźnik czasu trwania czynności
ZSP – zatrzymanie statku powietrznego
ONCRⁱ – odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia *i*-tej czynności
t_{RCR}ⁱ – rzeczywista chwila rozpoczęcia *i*-tej czynności
t_{NMCR}ⁱ – najwcześniejsza możliwa chwila rozpoczęcia *i*-tej czynności
a_{x_n}^{ONCRⁱ} – funkcja przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia *i*-tej czynności procesu obsługi naziemnej statku powietrznego
Tⁱ – długość trwania *i*-tej czynności procesu obsługi naziemnej
a_{x_n}^{Tⁱ} – funkcja przynależności dla zmiennej opisującej długość trwania *i*-tej czynności procesu obsługi naziemnej
t_{RCZ}ⁱ – rzeczywista chwila zakończenia *i*-tej czynności
 \bar{x}^{T^i} – średni czas trwania *i*-tej czynności
 σ^{T^i} – odchylenie standardowe czasu trwania *i*-tej czynności
t_{0,05} – wartość krytyczna z rozkładu t-Studenta
WTⁱ – wskaźnik czasu trwania *i*-tej czynności
T_{max}ⁱ – czas trwania *i*-tej czynności wynikający z instrukcji operacyjnej
a_{x_n}^{WTⁱ} – funkcja przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania *i*-tej czynności procesu obsługi naziemnej
ZSPⁱ – odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu
t_{RZ}ⁱ – rzeczywista chwila zatrzymania statku powietrznego na stanowisku postojowym
t_{PZ}ⁱ – planowana chwila zatrzymania statku powietrznego na stanowisku postojowym
a_{x_n}^{ZSPⁱ} – funkcja przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu
A^{SOT} – gotowości obiektów technicznych
A^{POT} – gotowości personelu
UON – urządzenia obsługi naziemnej
UON₁ – zbiór agregatów prądotwórczych
UON₂ – zbiór urządzeń obsługi wentylacji statku powietrznego
UON₃ – zbiór schodów lotniskowych
UON₄ – zbiór podnośników taśmowych, bagażowych
UON₅ – zbiór zestawów transportowych (ciągnik lotniskowy z zestawem przyczepki bagażowych)

UON_6 – zbiór cystern
 UON_7 – zbiór pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (sprzątanie)
 UON_8 – zbiór pojazdów obsługi wody pitnej
 UON_9 – zbiór pojazdów obsługi toalet
 UON_{10} – zbiór pojazdów obsługi cateringu
 UON_{11} – zbiór pojazdów typu wypychacz statku powietrznego
 PON_1 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi agregatów prądotwórczych
 PON_2 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi urządzeń wentylacji statku powietrznego
 PON_3 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi schodów lotniskowych
 PON_4 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi podnośników taśmowych, bagażowych
 PON_5 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi zestawów transportowych (ciągnik lotniskowy z zestawem przyczepki bagażowych)
 PON_6 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi cystern
 PON_7 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (sprzątanie)
 PON_8 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi wody pitnej
 PON_9 – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi toalet
 PON_{10} – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi cateringu
 PON_{11} – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów typu wypychacz statku powietrznego.
 $a_{x_n}^{A^{SOT}}$ – funkcja przynależności dla zmiennej opisującej gotowość obiektów technicznych
 $a_{x_n}^{A^{POT}}$ – funkcja przynależności dla zmiennej opisującej gotowość personelu
 $Ocena^i$ – ocena i -tego procesu i poziomu obsługi naziemnej
 $a_{x_n}^{Ocena^i}$ – funkcja przynależności dla zmiennej opisującej ocenę
 B – zbiór wyjściowy
 \bar{y} – wyostrzona wartość wyjściowa
 PiW – przygotowanie i wypychanie statku powietrznego
 $PBSP$ – obsługa pasażersko-bagażowa statku powietrznego
 $RiZaSP$ – proces rozładunku i załadunku statku powietrznego
 $DiBSP$ – proces deboardingu i boardingu statku powietrznego
 $TeSP$ – proces obsługi technicznej statku powietrznego
 $OTiOWSP$ – proces obsługi toalet i wody statku powietrznego
 $SiOCSP$ – sprzątanie i obsługa cateringu statku powietrznego
 TSP – tankowanie statku powietrznego
 OP – ocena operacyjna
 OT – ocena taktyczna
 SP – statek powietrzny

WSTĘP

Proces obsługi naziemnej wymaga zaangażowania zasobów ludzkich i technicznych. W związku z tym jest definiowany jako system antropotechniczny. Specyfika operacji realizowanych na płycie lotniska pozwala określić go także jako system dynamiczny. System ten jest wrażliwy na zmiany warunków jego funkcjonowania. W szczególności na znaczeniu zyskuje zjawisko opóźnień. Stanowi ono źródło zakłóceń w funkcjonowaniu portów lotniczych, które mogą prowadzić do obniżenia rentowności przewoźników. To z kolei wynika z konieczności zmiany obowiązującego rozkładu lotów, zwiększając tym samym ryzyko utraty połączeń przesiadkowych przez pasażerów [1]. Według raportu opublikowanego przez Eurocontrol operacje obsługi naziemnej były odpowiedzialne za opóźnienia w pierwszym kwartale 2023 r. na poziomie 4,0 minut na lot, natomiast w drugim kwartale na poziomie 4,3 minut na lot [2]. Wiele prac naukowych koncentruje się na poszukiwaniu rozwiązań pozwalających na ograniczanie wpływu zakłóceń na terminowość zadań realizowanych przez statki powietrzne. Zakłócenie na jednym etapie rotacji statku powietrznego może powodować opóźnienia w kolejnych etapach realizacji zadania transportowego. Odchylenia od rozkładu lotów wpływają znacząco na operacje lotniskowe.

Czas postoju statku powietrznego jest uznawany za jeden z najważniejszych wskaźników konkurencyjności [3]. Czas postoju ma również wpływ na zadowolenie pasażerów linii lotniczych. Co więcej, procesy obsługi naziemnej identyfikowane są jako obszary generujące jedne z najwyższych kosztów operacyjnych [4]. W wieloterminalowych portach lotniczych zarządzanie obsługą płyt postojowych staje się coraz bardziej złożone. Wynika to z niepewności operacji lotniczych i zróżnicowanego poziomu kwalifikacji personelu [5]. Operacje obsługi naziemnej stanowią również istotny czynnik wpływający na niezawodność rozkładów lotów linii lotniczych [6]. W związku z tym szczególnego znaczenia nabiera efektywne zarządzanie czasem postoju statku powietrznego na lotnisku, który jest określany jako Turnaround Time (TAT) [7]. Ocena procesu obsługi naziemnej jest zatem niezbędna, ponieważ pozwala na identyfikację elementów, które zmniejszają wydajność operacyjną i generują znaczne obciążenia finansowe dla portów lotniczych.

Wzrost liczby pasażerów korzystających z transportu lotniczego wymusza projektowanie portów lotniczych zdolnych do funkcjonowania w zmiennych warunkach operacyjnych. Większa liczba pasażerów wiąże się ze wzrostem liczby obsługiwanych statków powietrznych. Powoduje to zwiększone obciążenie portów lotniczych i podmiotów zajmujących się procesami obsługi naziemnej [8]. W działalności operacyjnej kluczowym czynnikiem pozostają czas i możliwość maksymalnego skrócenia procesów obsługi. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera zrozumienie specyfiki procesów obsługi naziemnej. Dla podmiotów zarządzających portami lotniczymi istotne jest zidentyfikowanie obszarów krytycznych i dysponowanie narzędziami umożliwiającymi ich ocenę. Koniecznym zatem jest opracowanie narzędzi do analizy procesów obsługi naziemnej, w tym takich, które uwzględniają również ich niezawodność [9]. W portach lotniczych decyzje są podejmowane przede wszystkim na poziomie operacyjnym i taktycznym. Skuteczna identyfikacja i usprawnienie kluczowych obszarów bezpośrednio wpływają na poprawę funkcjonowania całego portu lotniczego.

Głównym problemem badawczym podejmowanym w pracy jest identyfikacja czynników, które powinny zostać uwzględnione w ocenie procesów obsługi naziemnej.

Celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. Poruszana problematyka dotyczy modelowania procesów eksploatacji i użytkowania obiektów technicznych, z naciskiem na ich niezawodność oraz wpływ czynnika ludzkiego. Model zakłada integrację dwóch poziomów działalności portu lotniczego: operacyjnego i taktycznego. Elementy te są kluczowe, ponieważ zarówno niezawodność urządzeń, jak i interakcje z personelem mają istotny wpływ na zdolność systemu do radzenia sobie z zakłóceniami.

Motywacja do podjęcia badań w obszarze oceny procesów obsługi naziemnej wynika z potrzeby zrozumienia, w jaki sposób systemy obsługi naziemnej mogą reagować na nieprzewidziane zakłócenia, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo i efektywność operacyjną. Brak przepustowości operacyjnej (np. niedostępność personelu lotniska) generuje opóźnienia. Te z kolei wpływają na operacje lotniskowe w zakresie np. załadunku, rozładunku i dostępności operatorów obsługujących sprzęt lotniskowy. Brak sprzętu, niezdatność systemów obsługi i dostępność zasobów ludzkich są również źródłami opóźnień.

Realizacja tematu rozprawy doktorskiej opiera się na systematycznym przeglądzie literatury. Specyfika procesów obsługi naziemnej wymaga uwzględnienia dwóch głównych obszarów: oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych i oceny procesów obsługi naziemnej w porcie lotniczym. Podejście to umożliwi tym samym identyfikację czynników, które powinny zostać uwzględnione w modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. Złożoność podjętej tematyki wymaga zastosowania szeregu metod i technik badawczych, wśród których należy wskazać: metodę obserwacyjną, metodę wnioskowania statystycznego, metodę ankietową i metodę badania dokumentów.

Prezentowane w ramach rozprawy rozważania mają na celu opracowanie rozwiązania, które będzie dawało możliwość oceny procesów obsługi naziemnej przez zarządców portu lotniczego. Uwzględniając złożoność procesu obsługi naziemnej oraz czynniki determinujące jego przebieg, sformułowano następujące tezy badawcze:

- Zakłócenia w realizacji wybranych czynności obsługi naziemnej wpływają na gotowość statku powietrznego do wykonania zadań transportowych zgodnie z rozkładem lotów.
- Sposób organizacji portu lotniczego wspiera funkcjonowanie portu lotniczego. Przebieg procesu obsługi naziemnej jest zależny od czynników takich jak dostępność obiektów technicznych i czynnika ludzkiego.
- Model oceny procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym integrującego działalność operacyjną i niezawodność obiektów technicznych pozwala na identyfikację obszarów wymagających poprawy w porcie lotniczym.

Wzrastająca liczba operacji lotniczych wymusza pełne wykorzystanie przepustowości lotniska. Ocena procesu obsługi naziemnej jest zatem niezbędna, ponieważ pozwoli na identyfikację krytycznych obszarów, które zmniejszają wydajność operacyjną. Opracowany model oceny systemu eksploatacji obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym stanowi narzędzie wspierające zarządzających portem lotniczym. Jest to możliwe poprzez uwzględnienie niepewności i zmienności procesów obsługi naziemnej oraz identyfikację obszarów wymagających usprawnienia. Co więcej, model umożliwi analizę problematycznych aspektów związanych z czynnikami technicznymi i ludzkimi.

1. PROCES OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKU POWIETRZNEGO

1.1. DEFINICJA I ISTOTA PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKU POWIETRZNEGO

Proces obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym obejmuje szereg działań realizowanych na płycie lotniska od chwili lądowania statku powietrznego do chwili jego ponownego startu. Głównym celem realizacji procesu obsługi naziemnej jest przygotowanie statku powietrznego do bezpiecznej realizacji kolejnych zadań transportowych [10]. Procedury obsługi naziemnej dzielą się na dwa główne typy [11]: obsługę terminalową i obsługę na płycie lotniska. Charakterystyczną cechą pierwszej wskazanej grupy procesu obsługi jest to, że wszystkie czynności realizowane są wewnątrz budynków terminalowych. Są to głównie czynności związane z obsługą pasażerów. Natomiast operacje realizowane na płycie lotniska odbywają się na stanowisku postojowym. Operacje te są związane z działaniami wykonywanymi od chwili zatrzymania statku powietrznego i zablokowania kół do chwili odblokowania kół [12].

Proces obsługi naziemnej stanowi istotny element transportu lotniczego. Odpowiada za sprawność, bezpieczeństwo i terminowość realizacji rozkładów lotów. Operacje realizowane w ramach tego procesu mają kluczowy wpływ na wydajność operacyjną portów lotniczych, ale również na konkurencyjność linii lotniczych. Do kluczowych celów organizacji procesu obsługi naziemnej zalicza się: wydajność, bezpieczeństwo, redukcję kosztów i satysfakcję klienta.

W kontekście wydajności obsługa naziemna koncentruje się na minimalizacji czasu postoju statku powietrznego w porcie lotniczym. Statki powietrzne wykonują zadania transportowe zgodnie z określonym harmonogramem. Z tego powodu wystąpienie opóźnienia na jednym etapie obsługi może prowadzić do opóźnień w kolejnych rotacjach. Zjawisko opóźnień dotyczy zmiany planowanego czasu przylotu lub odlotu statku powietrznego w stosunku do ustalonego harmonogramu. Usługi obsługi naziemnej są zatem istotne dla wyników linii lotniczych i ich konkurencyjności [13]. Złożoność środowiska operacyjnego portów lotniczych jest istotnym aspektem problematyki opóźnień. Proces obsługi naziemnej integruje wiele podmiotów. Wśród tych podmiotów identyfikuje się linie lotnicze, agentów lotniskowych, służby lotniskowe i służby kontroli ruchu lotniczego. Każde zakłócenie na poziomie działalności operacyjnej może również prowadzić do zwiększania poziomu opóźnień na kolejnych etapach procesu. Dodatkowo terminowość realizacji operacji w ramach obsługi naziemnej wpływa na sposób wykorzystania floty pojazdów obsługi naziemnej. Zatem wydajność ma związek z przepustowością portów lotniczych. Skrócenie czasu obsługi daje możliwość wykonywania operacji w porcie lotniczym dla większej liczby statków powietrznych. Zapewnienie wysokiej wydajności wymaga koordynacji zasobów technicznych, ludzkich i informacyjnych.

Kolejnym istotnym aspektem jest bezpieczeństwo. Obsługa naziemna stanowi kluczowy element bezpieczeństwa. Błędy w wyważeniu statku powietrznego, niewystarczające odladanie powierzchni nośnych mogą prowadzić do poważnych zagrożeń i wpływać na osiągnięcie statku powietrznego w czasie lotu [14]. Proces obsługi naziemnej realizowany jest przez operatorów. Zapewnienie bezpieczeństwa personelowi pokładowemu i naziemnemu także stanowi istotny element zarządzania ryzykiem operacyjnym [15].

Efektywność procesów obsługi naziemnej jest związana z kosztami. Rozważanie procesów obsługi w kategorii zagadnień optymalizacyjnych daje możliwość obniżania kosztów. Redukcja kosztów jest możliwa do osiągnięcia poprzez optymalizację wykorzystania personelu i sprzętu obsługi naziemnej [16]. Zapewnienie efektywności

kosztowej procesów obsługi jest także powiązane ze zjawiskiem opóźnień. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez Uniwersytet Westminsterski koszt opóźnienia statku powietrznego do 30 minut przy bramce może wynosić nawet 45 euro na minutę [17]. Obsługa naziemna obejmuje koordynację zasobów ludzkich i technicznych. W procesie tym czynnik ludzki jest istotny, gdyż integruje operatorów i pasażerów. Dlatego istotnym celem procesu obsługi naziemnej jest zapewnienie wysokiej jakości usług zarówno pasażerom, jak i liniom lotniczym. Obejmuje to terminowość, sprawność obsługi bagażu i zapewnienie bezpieczeństwa.

Obsługa naziemna statku powietrznego stanowi integralną część systemu transportu lotniczego. Ma ona wpływ na efektywność operacji lotniczych, bezpieczeństwo i satysfakcję klientów. Wzrastająca liczba operacji lotniczych i liczba pasażerów powodują, że zapewnienie odpowiedniej przepustowości lotnisk staje się wyzwaniem. W związku z rosnącym natężeniem ruchu lotniczego oraz ze zwiększającymi się wymaganiami dotyczącymi efektywności operacyjnej portów lotniczych, poszukiwanie obszarów wymagających poprawy stanowi istotny element niezbędny do rozwoju procesów obsługi naziemnej.

1.2. CHARAKTERYSTYKA PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKU POWIETRZNEGO

Obsługa naziemna to pojęcie obejmujące „szeroki zakres usług świadczonych w portach lotniczych na rzecz statków powietrznych, załóg, pasażerów oraz ich bagażu, a także ładunków i poczty, w czasie pomiędzy lądowaniem a startem” [10]. Wśród czynności realizowanych na płycie czynności identyfikuje się [18]:

- blokowanie statku powietrznego – proces umieszczania klinów w celu uniemożliwienia przemieszczania się statku powietrznego podczas postoju na płycie lotniska,
- pozycjonowanie schodów pasażerskich/rękawów – proces bezpiecznego podłączenia schodów pasażerskich/rękawów do statku powietrznego, umożliwiający wejście załogi i pasażerów na pokład oraz opuszczenie statku powietrznego przez pasażerów i załogę,
- wyjście pasażerów z samolotu – proces opuszczania statku powietrznego przez pasażerów i załogę,
- serwisowanie/czyszczenie kabiny – proces czyszczenia statku powietrznego w tym siedzeń i powierzchni, oraz uzupełniania zapasów wewnątrz statku powietrznego,
- wejście pasażerów na pokład – proces wchodzenia pasażerów i załogi na pokład statku powietrznego,
- odłączanie schodów pasażerskich/odłączenie rękawa – proces bezpiecznego odłączenia schodów pasażerskich/rękawów od statku powietrznego,
- rozładunek – proces rozładowywania bagażu pasażerskiego i ładunku z luku bagażowego statku powietrznego,
- załadunek – proces załadunku bagażu pasażerskiego i ładunku do luku bagażowego statku powietrznego,
- tankowanie samolotu – proces dostarczania określonej ilości paliwa do zbiorników statku powietrznego,
- serwis toalet – proces opróżniania zbiorników statku powietrznego z nieczystości,
- serwis wody pitnej – proces napełniania zbiorników statku powietrznego wodą pitną,

- usuwanie klinów – proces usuwania klinów, które uniemożliwiają poruszanie się statku powietrznego podczas postoju na płycie lotniska.

Proces postoju można również określić jako serię kluczowych węzłów milowych (KMN) [19]. W literaturze przedmiotu dokonano szczegółowej dekompozycji czynności realizowanych w ramach procesu obsługi naziemnej. Podział czynności obsługi zaprezentowany przez Szabo i in. [20] obejmował 26 operacji, w tym również czynności przygotowawcze tj. podstawienie obiektów technicznych. Natomiast Tuduriu i in. [21] analizowali proces obsługi naziemnej przy wykorzystaniu 27 działań za pomocą wykresu kartezyjskiego. Podejście to uwzględniało sprawdzenie poprawności wykonywanych działań, np. sprawdzenie zamknięcia ładowni statku powietrznego. Proces obsługi naziemnej charakteryzowany był także jako sekwencja czasowo-przestrzenna między węzłami sklasyfikowana na trzy głównie grupy [22]:

- obsługa przylotów – zatrzymanie na stanowisku postojowym, zakończenie wysiadania pasażerów,
- obsługa naziemna – zakończenie sprzątnięcia i czyszczenia statku powietrznego, zakończenie obsługi cateringowej, zakończenie tankowania, przekazanie manifestu ładunkowego, potwierdzenie wykonania przeglądu obsługowego lub konserwacyjnego,
- obsługę odlotów – zakończenie wsiadania pasażerów, odblokowanie statku powietrznego.

W przypadku analizy procesu obsługi naziemnej nie każda publikacja uwzględnia proces odladania statku powietrznego. Odladanie statku powietrznego jest czynnością, która ma na celu usunięcia szronu, lodu i/lub zamrożonych zanieczyszczeń z powierzchni statku powietrznego [23]. Jest to operacja, dla której lokalizacja, zależy od czasu kołowania statku powietrznego [24].

Dekompozycja procesu obsługi naziemnej statku powietrznego jest zależna od celu realizowanych badań. Proces obsługi naziemnej ma charakter dynamiczny, na którego przebieg ma wpływ wiele czynników, w tym czynniki związane z sytuacją operacyjną w porcie lotniczym, lotem i dostępnością obiektów technicznych [25]. W zakresie sytuacji operacyjnej na lotnisku identyfikuje się zagadnienia związane m.in. z polityką zarządzania stanowiskami postojowymi na płycie postojowej [26], długością kolejki na płycie postojowej [27] i z informacjami dotyczącymi liczby pasażerów i bagaży [25]. Do czynników wpływających na przebieg realizacji procesu obsługi naziemnej zalicza się również czynniki związane z samym rejsem, w szczególności [25]: czas opóźnienia przylotu, typ statku powietrznego, planowany czas postoju i objętość czynności związanych z obsługą serwisową statku powietrznego (tj. paliwo, woda). Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie w zakresie usług przewozu pasażerów identyfikacja i zrozumienie mechanizmów powstawania opóźnień mają kluczowe znaczenie [28].

Dostępność pojazdów obsługi naziemnej również jest uzależniona od sposobu organizacji pracy portu lotniczego. Pojazdy obsługi wraz z operatorami działają według określonego harmonogramu. Zakłócenia wynikające np. z opóźnień lub negatywnych warunków pogodowych mogą powodować konieczność zmiany harmonogramu.

Proces obsługi naziemnej wymaga koordynacji wielu operacji, które są realizowane w sposób szeregowy i równoległy. Wymagają one odpowiedniego planowania i uwzględnienia współzależności poszczególnych czynności. Istotnym elementem jest równoczesna realizacja wybranych działań. Zarządzanie procesem obsługi naziemnej ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia efektywności operacji lotniczych oraz minimalizacji czasu postoju statku powietrznego w porcie lotniczym.

1.3. UWARUNKOWANIA PRAWNE OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKU POWIETRZNEGO

Proces obsługi naziemnej statków powietrznych „obejmuje wiele czynności: obsługę pasażerów, transport naziemny, pomoc w blokowaniu statku powietrznego i dostarczanie niezbędnego sprzętu, załadunek i rozładunek statku powietrznego, w tym dostarczanie i obsługa niezbędnego sprzętu, a także transport załogi i pasażerów” [29]. Można go zatem zdefiniować jako złożony system działań operacyjnych. Procesy obsługi naziemnej angażują wiele podmiotów. Proces ten jest realizowany w różnych państwach według zbliżonych standardów i zasad. Zatem w analizie procesów obsługi naziemnej istotne znaczenie mają obowiązujące uwarunkowania prawne. Regulacje dotyczące usług obsługi naziemnej stanowią obszar obejmujący normy prawa międzynarodowego i unijnego, przepisy krajowe oraz wewnętrzne procedury operacyjne portów lotniczych i podmiotów świadczących usługi handlingowe.

Najważniejszym dokumentem na poziomie międzynarodowym jest Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (Konwencja Chicagowska) [30]. Jej celem jest zapewnienie bezpiecznego i uporządkowanego lotnictwa cywilnego. Konwencja zakłada, aby lotnictwo cywilne rozwijało się w oparciu o zasadę równych możliwości [31]. Z punktu organizacji procesów obsługi naziemnej kluczowe znaczenie mają załączniki 14, 17, 18 i 19. Załącznik 14 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym dotyczy aspektów związanych z projektowaniem i eksploatacją portów lotniczych. Wskazuje on w sposób bezpośredni, że [32]: „w przypadku, gdy lotnisko przyjmuje samolot, który przekracza certyfikowane charakterystyki lotniska, zgodność pomiędzy operacją tego samolotu a infrastrukturą lotniskową i jej operacjami powinna być poddana ocenie oraz powinny zostać opracowane i wdrożone odpowiednie środki w celu utrzymania akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa podczas wykonywania operacji”. Zapis ten podkreśla konieczność analizy zdolności infrastruktury lotniskowej do bezpiecznej obsługi statków powietrznych. Wskazuje również na potrzebę dostosowania procedur operacyjnych do odpowiedniej organizacji obsługi naziemnej. Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) wskazuje, że Załącznik 14 zawiera minimalne normy i zalecane praktyki dla projektowania i organizacji operacji lotniskowych [33]. Załącznik 19 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym zawiera informacje, które dotyczą funkcji zarządzania bezpieczeństwem związanych z eksploatacją statków powietrznych i działań bezpośrednio wspierających te operacje [34]. Załącznik 17 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym dotyczy aspektów związanych z bezpieczeństwem lotnictwa cywilnego. Zawarte w nim zapisy dotyczą organizacji systemu bezpieczeństwa w lotnictwie, w tym zasad kontroli dostępu do stref zastrzeżonych, procedur kontroli bezpieczeństwa pasażerów, bagażu kabinowego i rejestrowanego oraz kontroli ładunków, poczty i innych przesyłek [35]. Załącznik 18 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym zawiera informacje dotyczące bezpiecznego transportu materiałów niebezpiecznych drogą powietrzną [36]. Pomimo że Załączniki 17 i 18 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym nie dotyczą bezpośrednio organizacji procesu obsługi naziemnej jako całości, stanowią one istotny element regulacyjny. Wynika to przede wszystkim z tego, że określają one wymagania dotyczące ochrony lotnictwa cywilnego.

Dodatkowo w zakresie uwarunkowań regulujących wytyczne dotyczące funkcjonowania procesów obsługi naziemnej istotną rolę odgrywa również podręcznik dotyczący obsługi lotniska (Airport Handling Manual – AHM). Stanowi on formę przewodnika mającego na celu standaryzację procedur obsługi naziemnej. Stanowi on również uzupełnienie podręcznika Operacji Naziemnych IATA (IGOM). AHM zawiera szczegółowe,

zatwierdzone przez branżę lotniczą zasady i standardy dotyczące obsługi naziemnej [37]. Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego opracowuje również zestawy wytycznych technicznych, tj. Aerodrome Design Manual, które należy uwzględnić w procesie projektowania obiektów infrastruktury lotniskowej.

Wśród regulacji prawnych na poziomie unijnym istotne znaczenie mają w szczególności:

- Dyrektywa Rady 96/67/WE z dnia 15 października 1996 r. w sprawie dostępu do rynku usług obsługi naziemnej w portach lotniczych Wspólnoty regulująca dostęp do rynku usług handlingowych i zasady konkurencji [38],
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego regulująca m.in. wymogi dotyczące bezpiecznego świadczenia usług obsługi naziemnej i obowiązki podmiotu świadczącego usługi obsługi naziemnej [39],
- Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2025/20 z dnia 19 grudnia 2024 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 poprzez ustanowienie wymogów dotyczących bezpiecznego świadczenia usług obsługi naziemnej oraz organizacji świadczących te usługi ustanawiające m.in. zasady bezpiecznego świadczenia usług obsługi naziemnej w portach lotniczych [40],
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 139/2014 z dnia 12 lutego 2014 r. ustanawiające wymagania oraz procedury administracyjne dotyczące lotnisk zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008, definiujące m.in. pojęcie stanowiska postojowego oraz określające wymagania i procedury administracyjne funkcjonowania portów lotniczych [41],
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 376/2014 z 3 kwietnia 2014 r. w sprawie zgłaszania i analizy zdarzeń w lotnictwie cywilnym oraz podejmowanych w związku z nimi działań następczych nakładające obowiązek zgłaszania zdarzeń związanych z funkcjonowaniem i działalnością służb naziemnych, aby umożliwić ich analizę oraz wdrażanie działań zapobiegawczych [42],
- Rozporządzenie 965/2012 ustanawiające wymagania techniczne i procedury administracyjne odnoszące się do operacji lotniczych zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008 zawierające zapisy dotyczące m.in. wytycznych stawianych personelowi, infrastrukturze, a także wytycznych dotyczących organizacji czynności procesów obsługi naziemnej [43].

Z perspektywy realizacji procesów obsługi naziemnej znaczenie mają również krajowe akty prawne. Jednym z najważniejszych jest Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze [44]. Ustawa ta reguluje rodzaje kategorii usług świadczonych w porcie lotniczym dla przewoźników lotniczych tj.: obsługa w zakresie administracji naziemnej i nadzoru, obsługa pasażerów, obsługa bagażu, obsługa towarów lub poczty, obsługa płytowa, obsługa w zakresie zaopatrzenia statków powietrznych w materiały napędowe, obsługa w zakresie utrzymania statków powietrznych, obsługa w zakresie operacji lotniczych i czynności administracyjnych związanych z załogą, transport naziemny oraz obsługa w zakresie zaopatrzenia pokładowego statków powietrznych w żywność i napoje (catering) [44]. Kolejnym istotnym dokumentem jest Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 19 listopada 2013 r. w sprawie obsługi naziemnej w portach lotniczych dotyczącego dzielenia zezwolenia na wykonywanie obsługi naziemnej, określenia warunków stosowanych przy wprowadzaniu ograniczeń liczby zezwoleń dla agentów obsługi naziemnej oraz ograniczenia liczby przewoźników lotniczych wykonujących własną obsługę naziemną [45]. Rozporządzenie

to stanowi podstawę prawną w kontekście uzyskania zezwolenia na wykonywanie usług obsługi naziemnej na rzecz osób trzecich. Pozostałe dwa najważniejsze akty regulujące ten obszar to [46]: art. 173 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz. U. z 2012, poz. 933 i 951 i 1544 oraz z 2013 poz. 134, 628, 829 i 912) oraz art. 173 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz. U. z 2012, poz. 933 i 951 i 1544 oraz z 2013 poz. 134, 628, 829 i 912). Wśród aktów uzupełniających wskazuje się m.in. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 grudnia 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie certyfikacji działalności w lotnictwie cywilnym, obejmujące między innymi certyfikat agenta obsługi naziemnej – Airport Handling Agent Certificate (AHAC) [47].

Wskazane w tym rozdziale akty prawne i dokumenty międzynarodowe nie stanowią kompletnego katalogu regulacji prawnych dotyczących funkcjonowania procesów obsługi naziemnej. Stanowią jedynie wstępne założenia do analizy procesów obsługi naziemnej. Każdy z opracowanych aktów prawnych tworzony jest docelowo jako dokument mający na celu wspieranie procesu projektowania i użytkowania portów lotniczych. Celem regulacji jest wspieranie użytkowania i eksploatacji procesów obsługi naziemnej. Przykładowo, Dyrektywa 96/67/WE doprowadziła do wprowadzenia minimalnych wymogów w zakresie przejrzystości oraz zasady swobodnego dostępu do rynku [48]. Szczegółowy zakres odpowiedzialności, warunki operacyjne, kwestie bezpieczeństwa reguluje umowa o obsłudze naziemnej AHM810 [49]. Co więcej, operacje obsługi naziemnej muszą być zgodne z wymogami i spełniać określone standardy jakościowe. Wybór operatora jest zależny od zestawu kryteriów, wśród których literatura wskazuje [50]: interoperacyjność, poziom świadczonych usług, elastyczność, koszty oraz ryzyko, tj. strajki i masowe zwolnienia. Warunki prawne dotyczące obsługi naziemnej kształtowane są poprzez przepisy międzynarodowe, krajowe i wszelkiego rodzaju normy. Ramy te mają na celu zapewnienie bezpieczeństwa i efektywności procesu, a także regulację odpowiedzialności i obowiązków zaangażowanych podmiotów.

2. SYSTEM I PROCES OBSŁUGI NAZIEMNEJ W UJĘCIU TEORII SYSTEMU

2.1. POJĘCIE SYSTEMU

W literaturze przedmiotu pojęcie systemu definiowane jest na cztery sposoby jako [51]: 1) skoordynowany wewnętrznie układ elementów o określonej strukturze, 2) zbiór zasad, reguł i norm porządkujących sposób działania w danej dziedzinie, 3) zbiór sposobów działania i wykonywania czynności, 4) uporządkowany zbiór zadań, które są ze sobą powiązane logicznymi zależnościami. System (S) stanowi zatem uporządkowaną całość, składającą się ze zbiorów elementów (E), które posiadają określone atrybuty (A) oraz powiązanych ze sobą relacjami (R) [52]. Takie podejście formalnie opisywane jest za pomocą wzoru (1) [52].

$$S = (E, A, R) \quad (1)$$

gdzie:

$E = [E_1, \dots, E_n]$ – zbiór elementów systemu,

$A = [A_1, \dots, A_{m \times n}]$ – zbiór atrybutów systemu,

$R = [R_1, \dots, R_{r \times n-1}]$ – zbiór relacji systemu,

n – liczba elementów systemu,

$m \times n$ – właściwości atrybutów systemu,

$r \times n - 1$ – rozważane typy relacji.

Z perspektywy realizacji rozprawy doktorskiej, dotyczącej obsługi naziemnej statku powietrznego, istotne jest uwzględnienie operatorów, obiektów technicznych, zadań, technologii i elementów otoczenia [53]. Takie ujęcie systemu formalnie opisywane jest za pomocą wzoru (2) [53].

$$S = (M, A, C, G, F) \quad (2)$$

gdzie:

$M = [M_i; i = 1, \dots, I]$ – zbiór operatorów systemu,

$A = [A_k; k = 1, \dots, K]$ – zbiór obiektów technicznych systemu,

$C = [C_n; n = 1, \dots, N]$ – zbiór elementów otoczenia systemu,

$G = [G_l; l = 1, \dots, L]$ – zbiór zadań systemu,

$F = [F_j; j = 1, \dots, J]$ – zbiór technologii systemu.

Elementy otoczenia systemu (E) stanowią zbiór podmiotów, zasobów oraz uwarunkowań wpływających na sposób jego funkcjonowania. Obsługa naziemna stanowi złożony układ skoordynowanych działań technicznych, organizacyjnych i logistycznych, wzajemnie powiązanych ze sobą określonymi relacjami. Z tego powodu działania badawcze związane z procesami obsługi naziemnej statków powietrznych powinny być realizowane z wykorzystaniem teorii systemów. Wśród elementów składających się na systemowe ujęcie procesu obsługi naziemnej wskazuje się:

- operatora handlingowego (M), który jest podmiotem wykonującym czynności związane z handlingiem i odpowiedzialnym za eksploatację urządzeń i pojazdów obsługi naziemnej (A),
- urządzenia i pojazdy obsługi naziemnej (A) stanowiące niezbędny zasób do realizacji operacji (zadań) obsługi naziemnej (G),
- operacje (zadania) obsługi naziemnej (G) stanowią uporządkowany w czasie ciąg czynności wykonywany w określony sposób przy wykorzystaniu urządzeń i pojazdów obsługi naziemnej (A),
- technologia (F) stanowi zbiór procedur i sposobów działania stosowanych w porcie lotniczym, których celem jest zapewnienie bezpiecznej i efektywnej realizacji czynności obsługowych.

Podejście Powierża do definicji systemu, podobnie jak Cempela, uwzględnia zależności pomiędzy poszczególnymi elementami systemu. Zależności te określane są mianem struktury systemu [53]:

$$R = [R_j; j = 1, \dots, J] \quad (3)$$

gdzie:

R_j – relacja systemotwórcza.

W ujęciu niezawodnościowym relacje systemotwórcze stanowią sposób łączenia elementów w strukturę szeregową, równoległą, progową, mostkową, złożoną lub mieszaną. Struktury niezawodnościowe opisują sposób powiązania między elementami. Wskazują także, jak powiązania pomiędzy nimi wpływają na zdatność lub niezdatność całego systemu. System o strukturze szeregowej funkcjonuje prawidłowo wyłącznie przy pełnej sprawności wszystkich jego obiektów i podsystemów [54]. Uszkodzenie jakiegokolwiek elementu powoduje uszkodzenie całego systemu [54]. System o strukturze równoległej występuje w sytuacji, gdy, sprawność jednego elementu zapewnia poprawne jego funkcjonowanie [55]. W takim ujęciu system jest zdatny, gdy co najmniej jeden jego element pozostaje sprawny [55]. W systemie o strukturze progowej („ k z n ”) system jest zdatny, gdy co najmniej k wybranych elementów z n działa poprawnie [56]. System o strukturze mostkowej stanowi

złożony układ połączeń, w którym uszkodzenie pojedynczego elementu nie musi prowadzić do niezdatności całego systemu [57]. System może zachować zdatność dzięki alternatywnym ścieżkom funkcjonowania układu. Systemy o strukturze złożonej stanowią układy, w których elementy połączone są szeregowo i równolegle. Obsługa naziemna jest procesem, w którym czynności realizowane są w sposób szeregowy i równoległy [29,58,59]. Zgodnie z literaturą proces ten jest definiowany także jako proces złożony [60].

Kluczowym parametrem stosowanym w ocenie niezawodności systemu jest funkcja $R(t)$, oznaczająca „prawdopodobieństwo znajdowania się obiektu do chwili t w stanie zdatności” [61] (4).

$$R(t) = P(T \geq t), \quad t \geq 0 \quad (4)$$

Zgodnie z dokonany przeglądem literatury wyróżnia się modele systemów: odnawialne i nieodnawialne. Równanie (5) opisuje niezawodność początkową obiektu w systemie dla modelu elementu nieodnawialnego [51].

$$R(t) = P\{A(\tau, \omega_\phi, \kappa); 0 \leq \tau \leq (T \geq t) | A(0, \omega_\phi, \kappa)\}; \quad (5)$$

gdzie:

$A(\tau, \omega_\phi, \kappa)$ – zdarzenie opisujące sytuacje, w której obiekt w chwili τ spełnia kryterium zdatności dla właściwości obiektu ω_ϕ i przyjętych warunków eksploatacji κ .

Równanie (6) przedstawia podstawową miarę oceny niezawodności, tj. funkcję gotowości $K_g(t)$ dla modelu niezawodności elementu odnawialnego [51].

$$K_g(t) = \sum_{n=0}^{\infty} P(A_n) \quad (6)$$

gdzie:

A_n – prawdopodobieństwo, że obiekt w chwili t znajduje się w stanie zdatności ($A_n | t'_n < t < t_{n+1}$).

Obsługę naziemną rozpatruje się zatem jako system odnawialny, w którym po wystąpieniu uszkodzenia, elementy systemu obsługi naziemnej, podlegają regeneracji lub wymianie na nowe [51]. W wyniku tych działań obiekty systemu zostają przywrócone do stanu zdatności i mogą ponownie realizować zadania eksploatacyjne. Ważna jest także identyfikacja funkcji gotowości i niezawodności systemu. Ich wyznaczenie umożliwia przeprowadzenie oceny eksploatacyjnej.

Każdy system charakteryzuje się określonym celem funkcjonowania oraz strukturą. Głównym celem obsługi naziemnej jest przygotowanie statku powietrznego do realizacji zadań założonych w harmonogramie w bezpieczny sposób. Systemy charakteryzują się także zestawem właściwości, do których zalicza się [51]: kompleksowość, dekomponowalność, odosobnienie, identyfikowalność, nieokreśloność, adaptacyjność i współzależność.

Współzależność obsługi naziemnej polega na tym, iż wszystkie elementy systemu są ze sobą powiązane. Każde zdarzenie niepożądane wpływa na cały układ obsługi i może opóźnić realizację kolejnych czynności, a tym samym całego procesu. Z kolei kompleksowość polega na tym, że system ten składa się z wielu elementów i relacji pomiędzy nimi. W zależności od typu statku powietrznego liczba pracowników potrzebnych do obsługi naziemnej może wynosić 21 i wymagać zaangażowania 10 urządzeń technicznych [20]. Zachowanie systemu wynika nie tylko z cech jego elementów składowych, ale także z interakcji między nimi. Obsługę naziemną można podzielić na podsystemy i części składowe, co świadczy o jej dekomponowalności. Dodatkowo obsługa naziemna składa się z zestawu operacji, które są zależne od siebie. Przykładowo, proces

tankowania statku powietrznego nie może rozpocząć się przed zakończeniem wysiadania pasażerów z pokładu statku powietrznego. Obsługa naziemna charakteryzuje się również tym, że można wyznaczyć jej granice i wyodrębnić ją z otoczenia. Jest ona także identyfikowalna, tzn. można ją rozpoznać i opisać poprzez właściwości takie jak struktura, parametry, funkcje oraz relacje wejście – wyjście. Obsługa naziemna charakteryzuje się również niepewnością związaną przykładowo z pomiarami (które mogą być obarczone błędem) lub niepewnością informacji. Obsługa naziemna, zwłaszcza w kontekście zjawiska opóźnień, jest systemem, który charakteryzuje się także adaptacyjnością, czyli umiejętnością dostosowania się do zmian w otoczeniu.

2.2. POJĘCIE SYSTEMU EKSPLOATACJI OBIEKTU TECHNICZNEGO

Słowiński zdefiniował pojęcie eksploatacji w znaczeniu inżynierskim jako „organizacyjne, techniczne, ekonomiczne i społeczne zagadnienia związane z działaniem ludzi i maszyn” [62]. Ta definicja wskazuje dwa kluczowe elementy eksploatacji: człowieka i obiekt techniczny. Wskazane elementy eksploatacji stanowią podstawowe zmienne w analizie procesów obsługi naziemnej. Zjawisko eksploatacji jest wynikiem świadomego działania człowieka, który obsługuje, wykorzystuje i utrzymuje obiekt. Natomiast samo pojęcie obiektu technicznego oznacza wytwór działalności technicznej. Wytwór działalności technicznej może być określany jako materialny element, który został zorganizowany jako system [63].

Istotnym zagadnieniem w zakresie obiektu technicznego jest pojęcie cyklu życia. Cykl życia oznacza uporządkowaną sekwencję etapów/faz, przez które przechodzi obiekt techniczny. Wśród tych faz wskazuje się [64]: projektowanie, wytwarzanie, eksploatację oraz wycofanie z eksploatacji. Wskazane fazy cyklu życia obiektu technicznego obejmują zestaw następujących po sobie etapów [65] :

- pierwsza faza cyklu życia obiektu technicznego – projektowanie – polega na planowaniu, opracowaniu projektu koncepcyjnego, przeprowadzeniu badań i realizacji analiz produktowej,
- druga faza cyklu życia obiektu technicznego – wytwarzanie – polega na pozyskaniu surowców i komponentów niezbędnych do realizacji procesu produkcyjnego jak również realizację samego procesu technologicznego,
- trzecia faza cyklu życia obiektu technicznego – eksploatacja – polega na wykonywaniu przez wytworzony obiekt techniczny celu, dla którego został opracowany; do działań wpisywanych do tego etapu cyklu życia wskazuje się również konserwacje obiektu technicznego,
- czwarta faza cyklu życia obiektu technicznego – wycofanie z eksploatacji – koncentruje się na recyklingu, unieszkodliwianiu, demontażu, składowaniu, odzysku elementów, które tworzyły obiekt techniczny.

Moczarki w swojej pracy wskazuje także na dwa sposoby definiowania pojęcia systemu eksploatacji obiektu technicznego. Pierwsza definicja wskazuje na ujęcie rzeczowe, w której system eksploatacji obiektu technicznego oznacza [66]: „zbiór występujących w procesach użytkowania i obsługi maszyn, urządzeń, narzędzi, przyrządów, budynków, budowli oraz zasileń materiałowych, energetycznych, informacyjnych i ludzi wraz z relacjami istniejącymi między tymi składnikami i między ich właściwościami”. Druga definicja wskazuje na ujęcie organizacyjne rozumiane jako zbiór reguł użytkowania i obsługi obiektów technicznych [66]. Struktura organizacyjna odnosi się do kierowania i wykonywania eksploatacji.

Proces obsługi naziemnej statku powietrznego stanowi układ, w którym obiekty techniczne (pojazdy/urządzenia) są obsługiwane przez personel naziemny. Elementy te realizowane są w odpowiedniej sekwencji, tworząc system odpowiedzialny za przygotowanie statku powietrznego do realizacji operacji lotniczej. W związku z tym proces obsługi naziemnej powinien być rozpatrywany w kategorii systemu eksploatacji obiektów technicznych. Proces obsługi naziemnej składa się z odpowiednich faz cyklu życia. Na etapie projektowania niezbędne jest uwzględnienie wymagań eksploatacyjnych statku powietrznego oraz dotyczących zapotrzebowania na infrastrukturę i obiekty techniczne. Na etapie wytwarzania, poza bezpośrednim fizycznym wytwarzaniem obiektu technicznego, opracowywane są także instrukcje obsługi technicznej i odpowiednie procedury wykonywania poszczególnych czynności obsługowych. Najważniejsza faza, czyli eksploatacja, polega na realizowaniu wszystkich zadań mających na celu przygotowanie statku powietrznego do realizacji kolejnych operacji transportowych. W przypadku procesów obsługi naziemnej faza wycofania z eksploatacji koncentruje się nie tylko na recyklingu i unieszkodliwianiu statku powietrznego, ale również na recyklingu i unieszkodliwianiu pojazdów i urządzeń obsługi naziemnej.

W klasycznym podejściu eksploatacyjnym system eksploatacji to nie tylko sam przebieg działań, ale także jego otoczenie, które wspólnie tworzą układ eksploatacyjny [67], który można zapisać z pomocą równania (7).

$$SE = \langle (SU(OT), SO(OT), OS), W, RUOS \rangle \quad (7)$$

gdzie:

SE – system eksploatacji obiektu technicznego

SU(OT) – system użytkowania obiektu technicznego

SO(OT) – system obsługiwania obiektu technicznego

OS – otoczenie eksploatacji systemu obiektu technicznego

W – właściwości elementów systemu obiektu technicznego

RUOS – powiązania pomiędzy elementami systemu użytkowania, obsługiwania i otoczenia.

Sposoby definiowania systemu użytkowania, systemu obsługiwania oraz otoczenia eksploatacji przedstawia Tabela 2.1 [67,68].

Tabela 2.1. Definicje systemu użytkowania, systemu obsługiwania oraz otoczenia eksploatacji.

| System | Definicja | Wzór | Objaśnienie wzoru |
|-------------|---|---|---|
| użytkowania | wykorzystanie obiektu technicznego zgodnie z celem, dla którego został wytworzony | $SU(OT) = \langle OT, (E_{SU}, Bu, RepU, Ou), Wu, RU \rangle$ | <i>E_{SU}</i> – elementy systemu użytkowania <i>OT</i> – obiekt techniczny <i>Bu</i> – infrastruktura użytkowania <i>RepU</i> – repertuar użytkowania <i>Ou</i> – warunki użytkowania <i>Wu</i> – właściwości elementów systemu użytkowania <i>RU</i> – relacje między elementami systemu użytkowania |

| | | | |
|--------------|--|--|--|
| obsługiwanie | utrzymywanie i odtwarzanie zdolności eksploatacyjnej obiektu technicznego poprzez realizację napraw, przeglądów, remontów, konserwacji i regulacji | $SO(OT) = \langle OT, (E_{SO}, Bo, RepO, Oo), Wou, RO \rangle$ | E_{SO} – elementy systemu obsługiwanie OT – obiekt techniczny Bo – infrastruktura obsługiwanie $RepO$ – repertuar obsługiwanie Oo – warunki obsługiwanie Wo – właściwości elementów systemu obsługiwanie RO – relacje między elementami systemu obsługiwanie |
| otoczenie | zespół warunków i czynników zewnętrznych, w których zachodzi eksploatacja obiektu technicznego | $OS = \langle E_{OS}, W_{OS}, RS \rangle$ | E_{OS} – elementy otoczenia systemu eksploatacji W_{OS} – właściwości otoczenia systemu eksploatacji RS – relacje systemu otoczenia |

System eksploatacji stanowi zatem zorganizowany układ elementów materialnych, informacyjnych i energetycznych eksploatowany przez człowieka w celu realizacji konkretnie zdefiniowanych zadań [67]. System eksploatacji obiektu technicznego można opisać stosując za pomocą równania (8) [67].

$$SE_p = \langle U(P), RF \rangle \quad (8)$$

gdzie:

SE_p – system eksploatacji obiektu technicznego

$U(P)$ – zbiór układów działania obiektu technicznego P uwzględniający układ użytkowania i obsługiwanie

RF – uporządkowany zbiór relacji.

Obiekty techniczne podlegają klasyfikacji według określonej typologii stanów technicznych i eksploatacyjnych. W literaturze przedmiotu stany techniczne obejmują: zdolność, zdolność warunkową oraz niezdatność, natomiast w ujęciu eksploatacyjnym wyróżnia się dwa zasadnicze stany funkcjonalne: użytkowanie oraz obsługę [67]. Pojęcie zdolności oznacza stan bycia zdolnym do wykonywania czynności zgodnie z wymaganiami. Z kolei niezdatność to stan niemożności wykonania wymaganego działania z powodu usterki wewnętrznej lub konserwacji zapobiegawczej. Zdolność warunkowa oznacza, że obiekt realizuje funkcje, jednak nie w pełnym wymiarze, czyli z ograniczeniami. Istotnym pojęciem jest także repertuar eksploatacyjny. Uwzględniając repertuar eksploatacyjny system można zapisać jako zbiór „uporządkowanej piątki” [68]:

$$SEU = \langle E, D, R, G, H \rangle \quad (9)$$

gdzie:

E – repertuar eksploatacyjny

D – zbiór stanowisk eksploatacyjnych

R – zbiór łańcuchów eksploatacji urządzenia

G – graf eksploatacji urządzenia

H – porządek eksploatacyjny

Przytoczone definicje systemu użytkowania, systemu obsługi i otoczenia systemu eksploatacji wskazują, że proces obsługi naziemnej powinien być również rozpatrywany w ujęciu systemowym. Proces ten wymaga zapewnienia odpowiednich elementów systemu użytkowania, do których zalicza się obiekty techniczne, infrastrukturę użytkowania oraz personel realizujący czynności obsługowe. Podstawowym elementem umożliwiającym realizację procesu są obiekty techniczne, czyli pojazdy i urządzenia dedykowane do realizacji wskazanych w instrukcjach operacyjnych czynności. Dodatkowo proces obsługi naziemnej wymaga odpowiednio zaprojektowanej infrastruktury. Aspekty związane z projektowaniem infrastruktury w procesach obsługi rozwiązywano poprzez wykorzystanie m.in. modeli optymalizacyjnych [69] i podejścia stochastycznego [70]. Każdy typ statku powietrznego posiada własną instrukcję operacyjną, która zawiera wytyczne dotyczące sposobu postępowania w sytuacjach normalnych i awaryjnych. Jest to zatem tożsame z repertuarem użytkowania. Co więcej, czynniki środowiskowe, organizacyjne i techniczne wpływają na warunki procesu obsługi statku powietrznego. W procesie obsługi identyfikuje się również właściwości elementów systemu użytkowania, czyli cechy determinujące zdolność systemu do realizacji określonych zadań, takie jak dostępność sprzętu czy zasobów. Operacje w tym procesie mogą być realizowane w sposób szeregowy i równoległy. Równocześnie analizuje się powiązania funkcjonalne, organizacyjne i informacyjne między elementami systemu, wśród których wyróżnia się m.in. zależności operacyjne i przepływy informacji.

Eksploatacja obiektów technicznych stanowi zespół działań dotyczących ich użytkowania, zasilania, dozoru, genezowania, diagnozowania, prognozowania i obsługi [66]. Pojęcie użytkowania obiektu technicznego oznacza jego wykorzystanie zgodnie z funkcją i przeznaczeniem, dla których został wytworzony [71]. Problematyka użytkowania była analizowana w kontekście procesów obsługi naziemnej w celu usprawnienia [20], oceny wydajności [22] i wyboru dostawców sprzętu obsługi naziemnej [72]. Obiekt techniczny, aby mógł realizować zadania zgodnie ze swoim przeznaczeniem, wymaga również źródła zasilania, rozumianego jako dostarczenie energii oraz/lub środków technicznych przy wykorzystaniu odpowiedniego systemu zaopatrywania [66,73]. W procesach obsługi naziemnej zagadnienia dotyczące zasilania są obecnie w literaturze skoncentrowane na możliwości wykorzystania wodoru [74] i elektryfikacji floty pojazdów obsługi naziemnej [75]. Obserwacja obiektu technicznego, nazywana dozorem, jest realizowana w celu uzyskania informacji na temat obiektu [76]. Informacje z procesów obsługi naziemnej są wykorzystywane głównie w kontekście określenia warunków jazdy [77], detekcji i sterowania pojazdami [78] oraz identyfikacji lokalizacji nietypowo funkcjonujących obiektów technicznych [79]. Genezowanie jest rozumiane jako proces identyfikacji przyczyn zmian stanu obiektu technicznego. W ujęciu eksploatacyjnym pojęcie to pozwala na ocenę stanu na podstawie rejestrowanych informacji zebranych z otoczenia [80]. Obsługa naziemna jako proces wymagający utrzymania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, koncentruje się między innymi na identyfikacji zagrożeń występujących w ramach realizacji obsługi naziemnej w portach lotniczych [81] oraz na analizie ich wpływu na przebieg operacji obsługi naziemnej [82]. Diagnozowanie polega na pozyskiwaniu i analizie informacji z pomiarów, testów, prób funkcjonalnych w celu ustalenia stanu technicznego obiektu [73]. W obsłudze naziemnej realizowanej na płycie lotniska opracowano już rozwiązanie do detekcji obiektów w czasie rzeczywistym oparte na systemie chmury brzegowej [83] i modelach lokalizacji obiektów [79]. Zebrane dane stanowią podstawę dla diagnozowania przebiegu operacji naziemnych. Z kolei

prognozowanie to proces, który koncentruje się na przewidywaniu przyszłych zdarzeń w oparciu o zdarzenia z przeszłości. W procesach obsługi naziemnej prognozowanie odnosi się przede wszystkim do analizy i przewidywania opóźnień odlotów [84], prognozowania czasu realizacji obsługi naziemnej statków powietrznych [85] i optymalizacji alokacji zasobów wykorzystywanych w operacjach obsługi naziemnej [16].

Podstawowymi elementami systemu eksploatacji są [86]: personel, obiekt techniczny, części, materiały, informacja oraz infrastruktura. Personel odpowiada za realizację czynności eksploatacyjnych i interpretację uzyskanych wyników z systemu. Po pandemii Covid 19 linie lotnicze i porty lotnicze musiały zmniejszyć liczbę lotów z uwagi na brak wystarczającej liczby pracowników [87]. Personel systemu eksploatacji pełni zatem funkcję wykonawczą i decyzyjną. Z kolei obiekt techniczny stanowi przedmiot oddziaływania systemu. Materiały, narzędzia oraz inne środki techniczne umożliwiają wykonywanie czynności przez operatora. W zależności od skali działalności portu lotniczego oraz zakresu realizowanych operacji, liczba środków sprzętu obsługi naziemnej może wynosić nawet 6333 jednostek [88]. Części, w tym części zamienne, są elementami niezbędnymi do przywrócenia zdatności obiektom oraz realizacji planowanych napraw. Z kolei informacja jako podstawowy element systemu obejmuje dane techniczne (np. dokumentację techniczną i instrukcje) i dane eksploatacyjne (np. wyniki pomiarów). Informacja stanowi tym samym podstawę do podejmowania decyzji w zakresie eksploatacji obiektów technicznych. W obszarze obsługi naziemnej zarządzanie informacją stanowi podstawę poprawy efektywności obsługi statków powietrznych [89]. Infrastruktura odpowiada za tworzenie odpowiednich warunków realizacji procesu eksploatacji, zapewniając odpowiednie zasoby techniczno-organizacyjne. Układ stanowisk postojowych musi być zaprojektowany w taki sposób, aby unikać sytuacji przekierowania statków powietrznych na oddalone stanowiska postojowe [69]. W ramach procesu obsługi naziemnej, w zakresie składników systemu eksploatacji, zasadne jest wskazanie podejścia opisywanego przez Ścieszkę, który dodatkowo wskazuje [90] energię, bazę kierowniczą, bazę użytkową, bazę obsługową, uwarunkowania czasowe oraz wartości finansowe.

Poza zdefiniowanymi w rozdziale 2.1 pojęciami niezawodności i gotowości literatura przedmiotu identyfikuje inne miary oceny systemu, obejmujące m.in. [51,91–94]:

- *MTBF – Mean Time Between Failures* – średni czas między awariami – definiowany jako średni czas poprawnej pracy pomiędzy występującymi awariami. Wartość MTBF jest wyznaczana z wzoru (10):

$$MTBF = \frac{T_p}{n} \quad (10)$$

gdzie:

T_p – całkowity czas poprawnej pracy

n – liczba awarii

- *MTTR – Mean Time To Repair* – średni czas naprawy – definiowany jako średni czas potrzebny na usunięcie awarii i przywrócenie systemu do stanu zdatności. Wartość MTTR jest wyznaczana z wzoru (11):

$$MTTR = \frac{T_n}{n} \quad (11)$$

gdzie:

T – całkowity czas wykonywanych napraw

n – liczba awarii

- *MTTF – Mean Time to Failure* – średni czas poprawnej pracy – definiowany jako średni czas pracy do wystąpienia awarii w systemie. Wartość MTTF jako oczekiwanej wartości czasu poprawnej pracy T jest wyznaczana z wzoru (12):

$$MTTF = E[T] = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - F(T))dt \quad (12)$$

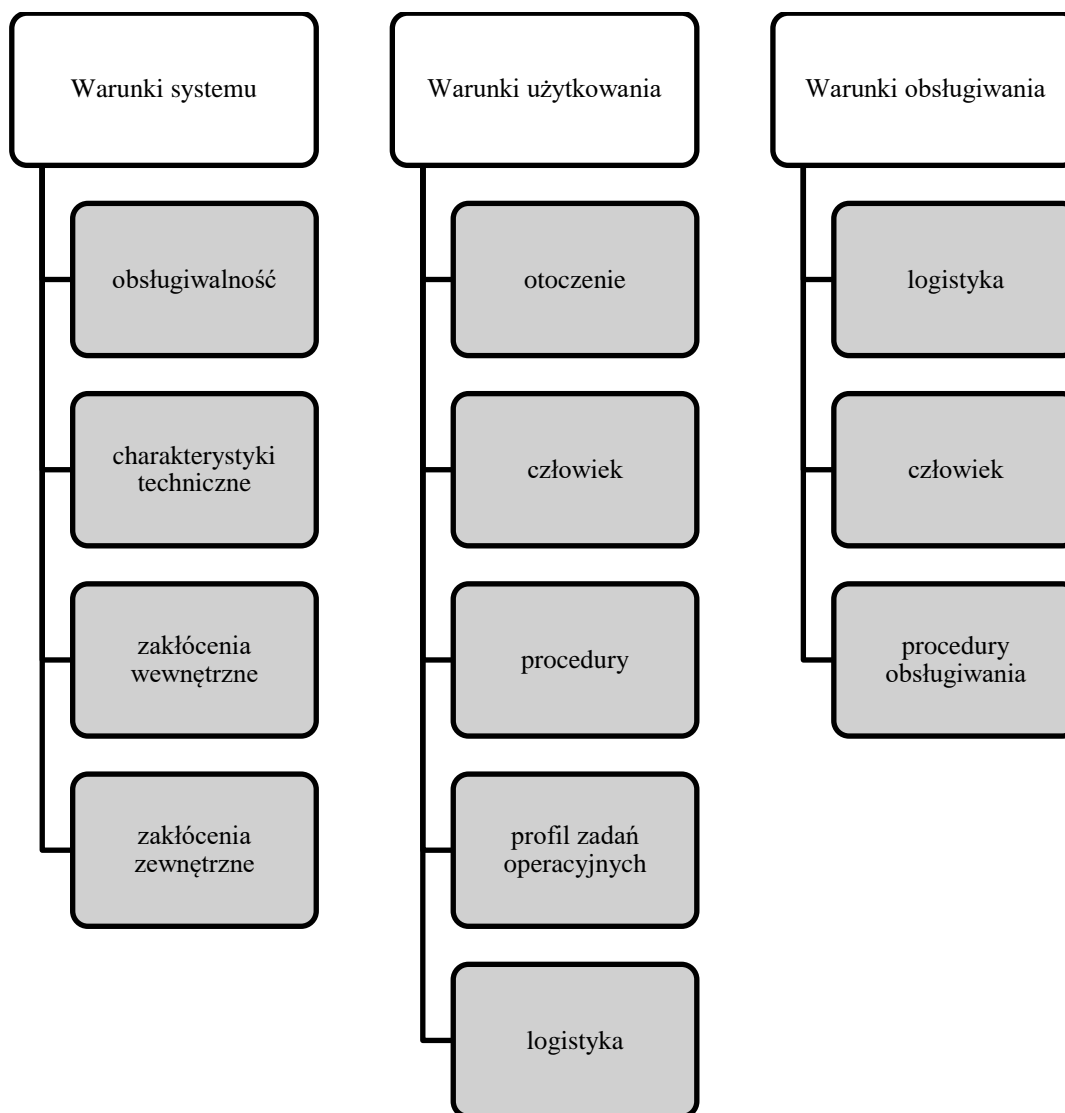
- *A – Availability* – dostępność – definiowana jako miara określająca ułamek czasu, w którym system jest użyteczny, tj. gotowy do poprawnego działania. Wartość A jest wyznaczana z wzoru (13):

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (13)$$

- λ – *failure rate* – intensywność uszkodzeń – definiowana jako warunkowa gęstość czasu poprawnej pracy T . Wartość λ jest wyznaczana z wzoru (14):

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \quad (14)$$

W analizie procesów obsługi naziemnej wykorzystywano miary związane z niezawodnością, w tym MTBF, MTTR i dostępności [72,95,96]. Wskazane wskaźniki umożliwiają przeprowadzenie analizy właściwości funkcjonalnych i operacyjnych systemu obsługi naziemnej. Pozwalają one jednocześnie ocenić jego zdolność do realizacji zadań i funkcji, dla których został zaprojektowany. W rezultacie wskaźniki te pozwalają na podejmowanie decyzji w zakresie planowania i utrzymania systemów eksploatacji obiektów technicznych. Na system eksploatacji obiektów technicznych wpływa zestaw powiązanych czynników, który determinuje wartości wskazanych miar niezawodności. Rysunek 2.1 przedstawia elementy wpływające na poziom funkcjonowania systemu technicznego [97].



Rysunek 2.1. Elementy wpływające na funkcjonowanie systemu technicznego.

Wskazane czynniki definiują trzy główne obszary wpływające na funkcjonowanie systemu technicznego. Warunki systemu to czynniki, które zostały ukształtowane na etapie projektowania i wdrażania systemu technicznego. Dotyczą obsługiwalności i charakterystyk technicznych systemu. Dodatkowo warunki systemu zależne są od zakłóceń wewnętrznych (np. błędów programowania, błędnego produktu, przeciążeń) i zakłóceń zewnętrznych wynikających z oddziaływania otoczenia na system. Warunki użytkowania są związane z realizacją funkcji, dla której system został zaprojektowany i wytworzony. Uwzględniają one otoczenie, człowieka, obowiązujące procedury, profil zadań i logistykę. Warunki obsługi stanowią uwarunkowania wynikające z organizacji i doboru strategii eksploatacji. Warunki obsługi mają tym samym bezpośredni wpływ na charakterystykę niezawodności systemu. Do tej kategorii, podobnie jak w przypadku warunków użytkowania, zalicza się człowieka oraz logistykę, a także obowiązujące procedury obsługi systemu. Z tego względu istotna jest odpowiednia strategia systemu eksploatacji. Obecnie w literaturze identyfikuje się następujące strategie systemów eksploatacji obiektów technicznych [98–101]:

- CM – Corrective Maintenance – obsługa korekcyjna,

- PM – Preventive Maintenance – obsługiwane zapobiegawcze,
- PdM – Predictive Maintenance – obsługiwane predykcyjne,
- CBM – Condition-Based Maintenance – obsługiwane według stanu technicznego,
- RCM – Reliability Centered Maintenance – konserwacja zorientowana na niezawodność.

Obsługiwanie korekcyjne definiowane jest jako najprostsza strategia polegająca na podejmowaniu działań po wystąpieniu awarii, strategia ta charakteryzuje się minimalizacją kosztów oraz zwiększonym ryzykiem niedostępności obiektu technicznego [102,103]. Obsługiwanie zapobiegawcze polega na realizacji okresowych i planowych napraw lub wymian urządzeń. Cechą charakterystyczną tej strategii jest minimalizacja ryzyka awarii obiektów technicznych dzięki planowanym z wyprzedzeniem kontrolom. Działania te są wykonywane w określonych odstępach czasu użytkowania, a nie na podstawie rzeczywistego stanu technicznego sprzętu [104]. Strategia obsługiwanie predykcyjnego polega na przeprowadzeniu konserwacji na podstawie przewidywanego trendu degradacji podzespołów [101]. Strategia obsługiwanie według stanu technicznego polega na gromadzeniu i ocenie informacji o obiektach technicznych w czasie rzeczywistym. Zaletą tej strategii jest posiadanie informacji o obiektach technicznych w czasie rzeczywistym, natomiast wadą są koszty przeglądów [98]. Konserwacja zorientowana na niezawodność jest podejściem, które poprawia dostępność systemu i skupia się na krytycznych trybach awarii [104]. Podejście to ma na celu zapewnienie optymalnego przydzielania zasobów. Wadą konserwacji zorientowanej na niezawodność jest konieczność opracowania szczegółowej analizy danych i posiadania dużej wiedzy o systemie.

3. STAN WIEDZY W ZAKRESIE OCENY EKSPLOATACJI SYSTEMÓW TECHNICZNYCH I PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ

3.1. STAN WIEDZY W ZAKRESIE OCENY SYSTEMÓW EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Wzrost złożoności obecnych systemów technicznych oraz konieczność spełniania wymogów bezpieczeństwa, zapewnienia ciągłości operacyjnej i efektywności ekonomicznej powodują, że konieczne staje się opracowanie narzędzi pozwalających na ocenę systemów eksploatacji obiektów technicznych. Do oceny systemów obiektów technicznych stosuje się różne metody i podejścia. Każde z nich jest dostosowane do konkretnych typów obiektów i charakteru działalności operacyjnej. W literaturze identyfikuje się przeglądy literatury poświęcone tej tematyce. Dotyczą one pomiaru efektywności konserwacji obiektów technicznych [105], modeli oceny dojrzałości i zrównoważonego rozwoju [106], niezawodności w cyklu życia systemu technicznego [107] i analizy niezawodności, dostępności, utrzymywalności oraz bezpieczeństwa (RAMS) [108]. Jednak badania te skupiają się na wybranych aspektach oceny (np. efektywności, dojrzałości organizacyjnej), nie dostarczając tym samym kompleksowego przeglądu na temat wskaźników i miar uwzględnianych w modelach oceny eksploatacji systemów technicznych. Systematyczna ocena złożonych systemów technicznych jest utrudniona. Wynika to z charakteru obiektów, złożoności obliczeń i liczności elementów, a także zależności i relacji między nimi.

Proces obsługi naziemnej statku powietrznego stanowi złożony system techniczny, którego funkcjonowanie jest zależne od sposobu powiązania elementów technicznych, organizacyjnych i informacyjnych. Ze względu na swoją specyfikę, czyli strukturę i sposób

funkcjonowania, powinien być rozpatrywany w kategoriach systemu technicznego. W związku z tym poniżej zaprezentowany przegląd literatury, koncentruje się na identyfikacji wskaźników i miar stosowanych w dotychczas opracowanych modelach i metodach oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych.

3.1.1. MODELE MARKOWA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Jedną z teorii wykorzystywanych do oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych jest model Markowa. Łańcuch Markowa zastosowano do opracowania modelu procesu eksploatacji samochodów z oczekiwaniem [109], w którym wykorzystano wskaźniki i mierniki, tj. wadliwość napraw, intensywność napraw, intensywność użytkowania i intensywność uszkodzeń. Z kolei Migawa i in. [110] wykorzystali podejście semi-markowskie do budowy modelu systemu napraw i wymian zapobiegawczych według wieku autobusów miejskich, opierając go na miernikach dotyczących średniego czasu naprawy, kosztu jednostkowego naprawy, czasu do uszkodzenia obiektu technicznego i intensywności uszkodzeń. Proces semi-markowski został wykorzystany także przez Kumar i in. [111] do opracowania modelu ilościowego określenia dostępności systemu w warunkach degradacji, awarii losowych oraz okresowego monitorowania stanu systemu. Azadeh i in. [112], w markowskim modelu symulacji zdarzeń dyskretnych, skupili się na ocenie skuteczności konserwacji opartej na stanie, w ramach której wykorzystali: stan obiektu technicznego, pozostały czas życia obiektu technicznego, pozostały czas naprawy obiektu technicznego, pozostały czas do konserwacji zapobiegawczej. Kozłowski i in. [113] wykorzystali model semi-markowy w układzie złożonym do oceny gotowości systemu utrzymania ruchu, uwzględniając kryteria związane z naprawą obiektu technicznego, obsługą codzienną obiektu technicznego, gotowością obiektu technicznego i rozmięszczeniem obiektu technicznego. Łańcuch Markowa wykorzystany przez Kou i in. [114] opierał się na dwóch głównych elementach: degradacji oraz czasie jej trwania. Odmienne podejście zaprezentowali Muślewski i in. [115], którzy wykorzystali model semi-markowy, nie do oceny niezawodności, a do oceny efektywności systemu. Wykorzystali oni informacje w zakresie średniego jednostkowego przychodu, średniego jednostkowego kosztu i średniego jednostkowego kosztu dochodu systemu. Cesaro i Pacciarelli [116] zastosowali podejście markowe w ocenie wydajności na lotniskach. W swojej pracy skupili się na uwzględnieniu parametrów niezawodnościowych związanych głównie z dostępnością sprzętu na lotniskach. Zakres dostępności badano także w kontekście złożonych systemów mechanicznych poprzez ocenę strategii konserwacji [117]. Tabela 3.1 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania teorii Markowa w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.1. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – modele markowa obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Miara/wskaźnik | Pozycja literaturowa |
|--|--|---|----------------------|
| Kruk (2021) | opracowanie modelu procesu eksploatacji z oczekiwaniem | <ul style="list-style-type: none"> • wadliwość napraw • intensywność napraw • intensywność użytkowania • intensywność uszkodzeń | [109] |
| Migawa, Borowski, Neubauer, Sołtysiak (2021) | model matematyczny systemu napraw i | <ul style="list-style-type: none"> • średni czas naprawy • koszt jednostkowy naprawy obiektu technicznego | [110] |

| | | | |
|---|--|---|-------|
| | wymian prewencyjnych | <ul style="list-style-type: none"> • czas do uszkodzenia obiektu technicznego • intensywność uszkodzeń | |
| Kumar, Jain, Gandhi (2018) | model do ilościowego określenia dostępności systemu | <ul style="list-style-type: none"> • degradacja • awarie losowe • okresowe monitorowanie stanu systemu | [111] |
| Azadeh, Asadzadeh, Salehi, Firoozi (2015) | oszacowanie pozostałego okresu użytkowania obektu technicznego w systemie | <ul style="list-style-type: none"> • stan obiektu technicznego • pozostały czas życia obiektu technicznego • pozostały czas naprawy obiektu technicznego • pozostały czas do konserwacji zapobiegawczej | [112] |
| Kozłowski, Borucka, Oleszczuk, Jałowicz (2023) | ocena gotowości systemu utrzymania ruchu | <ul style="list-style-type: none"> • naprawa obiektu technicznego • obsługa obiektu technicznego • gotowość obiektu technicznego • rozmieszczenie obiektu technicznego • tankowanie obiektu technicznego | [113] |
| Kou, Chu, Chen, Qin (2022) | ocena niezawodności w czasie rzeczywistym | <ul style="list-style-type: none"> • etapy degradacji wydajności obiektu technicznego • czas procesu degradacji wydajności obiektu technicznego | [114] |
| Muślewski, Lewalski, Migawa (2015) | analiza jakości działania systemu | <ul style="list-style-type: none"> • średni jednostkowy przychód • średni jednostkowy koszt • średni jednostkowy dochód | [115] |
| Cesaro i Pacciarelli (2011) | wydajność zarządzania częściami zamiennymi | <ul style="list-style-type: none"> • średni czas uzupełniania zapasów • średni czas między awariami • średni czas konserwacji naprawczej • dostępność obiektów technicznych | [116] |
| Kumar, Loganathan, Yadav (2023) | analiza dostępności systemu | <ul style="list-style-type: none"> • konserwacja działająca do momentu awarii, • konserwacja zapobiegawcza • konserwacja oparta na stanie technicznym • konserwacja okazjonalna | [117] |

3.1.2. ZBIORY ROZMYTE W OCENIE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Złożone systemy techniczne składają się zazwyczaj z trzech elementów: człowieka, obiektów technicznych i otoczenia. Z tego względu część z nich jest określana mianem systemów antropotechnicznych. W ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych wykorzystuje się również teorię zbiorów rozmytych. Podejście to daje możliwość modelowania niepewności wraz z uwzględnieniem zdywersyfikowanych kryteriów.

Muślewski [118] wykorzystał zbiory rozmyte jako element do oceny i zapewnienia jakości działania systemu transportowego miejskiego. W swojej pracy analizował system poprzez czynniki ludzkie i techniczne. Efektywność, wydajność i zagadnienia środowiskowe to czynniki, które również są uwzględniane w modelach oceny obiektów technicznych [119]. Zeng i in. [120] zastosowali podział oceny systemu automatyki dystrybucyjnej, wykorzystując trzy warstwy: docelową, kryterialną i decyzyjną. Podział wskaźników na poszczególne warstwy umożliwił szybką identyfikację obszarów wymagających poprawy. Podobne podejście zastosowali Bukowski i Werbińska-Wojciechowska [121], dokonując podziału modelu logiki na dwa poziomy: gotowości i procesowy. Zbiory rozmyte można

także wykorzystywać w połączeniu z metodami analitycznymi. Podejście to zastosowali Wang i in. [122], którzy uzupełnili analizę FMECA (failure mode, effect and criticality analysis) o rozmytą metodę priorytetyzacji ryzyka. Z kolei Pająk [123] wykorzystał zbiory rozmyte do identyfikacji zagrożenia wystąpienia stanu niezdolności systemu z wykorzystaniem kotła energetycznego. Moreira i in. [124] poza czynnikiem ludzkim, uwzględnili także potencjał techniczny. Tabela 3.2 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania teorii zbiorów rozmytych w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.2. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – zbiory rozmyte w ocenie obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Miara/wskaźnik | Pozycja literaturowa |
|---|--|--|----------------------|
| Muślewski (2010) | ocena jakości działania systemów transportowych | <ul style="list-style-type: none"> • błędy operatorów • stopień realizacji zadań transportowych • stan techniczny ciągów komunikacyjnych • stan elementów kół i układu kierowniczego • poziom widoczności na poszczególnych ciągach • stan elementów układu kół i układu kierowniczego • koszty eksploatacji • ergonomia pojazdu • emisja zanieczyszczeń • poziom hałasu | [118] |
| Gharib, Kovács (2024) | optymalizacja pracy i wczesne wykrywanie usterek | <ul style="list-style-type: none"> • efektywność paliwowa • wydajność • normy emisji spalin | [119] |
| Zeng, Su, Chen, Jiao, Liu, Xia (2022) | ocena stanu operacyjnego systemu automatyki dystrybucyjnej | <ul style="list-style-type: none"> • koszty • współczynnik dokładności • wskaźnik awaryjności • współczynnik straty • poziom błędów w komunikacji | [120] |
| Bukowski, Werbińska-Wojciechowska (2021) | wspieranie decyzji konserwacyjnych | <ul style="list-style-type: none"> • gotowość do reagowania • gotowość do monitorowania • gotowość do nauki • gotowość do przewidywania | [121] |
| Wang, Gao, Xu, Hong, Wang, Chena (2019) | ocena optymalizacji zarządzania konserwacją sprzętu | <ul style="list-style-type: none"> • niezawodność • dostępność • koszty | [122] |
| Pająk (2018) | identyfikacja zagrożenia wystąpienia stanu niezdolności | <ul style="list-style-type: none"> • stan zdolności • stan niezdolności | [123] |
| Moreira, Junior, Nascimento, Leite (2024) | ocena zgodności z wymaganiami technicznymi | <ul style="list-style-type: none"> • potencjał techniczny • niezbędna infrastruktura • wymagana wiedza specjalistyczna | [124] |

3.1.3. ODPORNOŚĆ OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Istotnym elementem w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych jest pojęcie odporności. Stopień odporności systemu, zgodnie z definicją Bukowskiego [125], to „*zdolność systemu do przewidywania, radzenia sobie/absorbowania, opierania się i odzyskiwania sprawności po wpływie zagrożenia (technicznego) lub katastrofy (społecznej)*”. Ocena odporności w analizie systemów eksploatacji stanowi istotny element. Odporność pozwala na określenie funkcjonowania systemu w warunkach zakłóceń, niepewności i zmienności otoczenia. W przypadku systemów antropotechnicznych zakłócenia mogą mieć charakter losowy. Losowość zakłóceń w systemie prowadzi do zmniejszenia ich niezawodności i gotowości do realizacji zadań, dla których zostały zaprojektowane i zbudowane. Ramy analizy odporności procesów obejmują czynniki techniczne i społeczne. Tsuji i in. [126], wykorzystując sieci Petriego, opracowali metodę modelowania odporności cybernetycznej w systemach sterowania przemysłowego. Uzyskana w ten sposób miara odporności pozwala na zdefiniowanie zakresu i czasu wykonania określonych zadań. Sarwar i in. [127] w modelu oceny odporności, opartym na sieciach bayesowskich, uwzględnili specyfikę analizowanego systemu tj. elementy energochłonności i niezawodności. Odporność systemu zyskuje na znaczeniu również w kontekście realizacji zadań, tj. działalności operacyjnej. Liu i in. [128] podjęli tematykę analizy odporności sprzętu w oparciu o uczenie się przez wzmacnianie. Podejście, które zostało zaprezentowane w ich pracy, wyróżnia się na tle pozostałych dotychczas analizowanych pozycji literaturowych głównie z uwagi na podział całego systemu na mniejsze procesy odporności. Zhang i Alipour [129] wykorzystali w ocenie odporności dodatkowe parametry, tj. topografię terenu oraz koszty związane z oceną odporności. W literaturze odporność systemów realizowano w kontekście systemów przemysłowych [130], transportowych [131], inżynierskich [132], systemów infrastruktury sieciowej [133] i systemów sterowania [134]. Tabela 3.3 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania teorii odporności w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.3. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – odporność obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|---|---|----------------------|
| Tsuji, Fujita, Matsumoto, Tamura, Doenhoff, Shigemoto (2023) | poprawa odporności cybernetycznej | <ul style="list-style-type: none"> • podmioty zaangażowane w systemie • zasoby wykorzystywane w systemie • procesy występujące w systemie | [126] |
| Sarwar, Khan, James, Abimbola (2018) | odporność działania elektrowni morskich | <ul style="list-style-type: none"> • system wytwarzania energii • system zarządzania energią • system sterowania systemem • konserwacja | [127] |
| Liu, Xu, Li, Ge, Yang, Zhang (2023) | optymalizacja odporności | <ul style="list-style-type: none"> • jednostki zwiadowcze • jednostki decyzyjne • podmioty wpływu na operacje • jednostki docelowe | [128] |
| Zhang, Alipour (2020) | odporność systemu transportowego | <ul style="list-style-type: none"> • normy dotyczące dopuszczalnej wysokości dróg i mostów • koszty jednostkowe związane z oceną solidności | [129] |

| | | | |
|--|--|--|-------|
| Bukowski, Werbińska-Wojciechowska (2025) | odporność w zrównoważonych i zorientowanych na człowieka systemach przemysłowych | <ul style="list-style-type: none"> • czynniki środowiskowe • czynniki gospodarcze • czynniki społeczne | [130] |
| Nagurney, Qiang (2007) | odporność sieci transportowych narażonych na degradację połączeń | <ul style="list-style-type: none"> • koszty • miara efektywności sieci | [131] |
| Hu, Mahadevan (2016) | ocena odporności | <ul style="list-style-type: none"> • niezawodności systemu zależna od czasu | [132] |
| Afrin, Yodo (2019) | ocena odzyskiwania odporności systemów infrastruktury sieciowej | <ul style="list-style-type: none"> • zestaw strategii odzyskiwania • zestaw kroków czasowych • zestaw krawędzi do naprawy | [133] |
| Wei, Ji (2010) | budowa, obsługa i ulepszanie odpornego przemysłowego systemu sterowania | <ul style="list-style-type: none"> • czas ochrony systemu • czas degradacji systemu • czas identyfikacji incydentu • czas regeneracji • wydajność | [134] |

3.1.4. ANALITYCZNY PROCES HIERARCHICZNY OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Metoda analitycznego procesu hierarchicznego (AHP) jest wykorzystywana do oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych. Stanowi narzędzie wielokryterialnego podejmowania decyzji. Podobnie jak w przypadku logiki rozmytej, AHP umożliwia ustrukturyzowanie złożonych problemów decyzyjnych i wykorzystanie kryteriów do przeprowadzenia oceny. Metoda AHP w ocenie systemów technicznych była wykorzystywana w połączeniu z techniką TOPSIS (The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [135], oceną ekspercką [136] i algorytmu rozmytego [137,138]. W badaniach w zakresie oceny wykorzystywano także metody procesu hierarchii analitycznej (FAHP) [139]. Podejście wielokryterialnej hierarchii wykorzystano do oceny stanu eksploatacyjnego kluczowych urządzeń transformatorowych elektrowni [140], systemu eksploatacji i utrzymania sprzętu [139] oraz wyboru strategii konserwacji [141]. Tabela 3.4 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.4. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – analityczny proces hierarchiczny obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|---|--|---|----------------------|
| Hemmati, Galankashi, Imani, Rafiei (2020) | wybór polityki konserwacyjnej | <ul style="list-style-type: none"> • podmioty zaangażowane w systemie • zasoby wykorzystywane w systemie • procesy występujące w systemie | [135] |
| Zang, Tian (2023) | ocena skuteczności operacyjnej pojazdu | <ul style="list-style-type: none"> • zdolność operacyjna inżynierii • mobilność • możliwość komunikacji i pozycjonowania • możliwość ochrony • adaptowalność systemu | [136] |

| | | | |
|---|--|--|-------|
| Yong-Ping, Juan-Yun, Xue-Wu, Zhi-Guang, Kai, Yuan-Chao (2023) | ocena stanu eksploatacyjnego urządzeń transformatorowych | <ul style="list-style-type: none"> wady jakościowe czas pracy szybkość ładowania środowisko operacyjne | [140] |
| Ayalew, Meharie, Worku (2022) | ocena i wybór strategii zarządzania utrzymaniem dróg | <ul style="list-style-type: none"> koszt bezpieczeństwo efektywność czynniki ludzkie | [137] |
| Ding, Zhang, Xia (2020) | ocena systemu eksploatacji i utrzymania sprzętu | <ul style="list-style-type: none"> wymagania funkcjonalne wymagania dotyczące treści informacji wymagania rozwojowe wymagania dotyczące interfejsu | [139] |
| Duan, Long, Feng, Luo, Gao, Sun (2019) | ocena stanu urządzeń wtórnych energetycznych | <ul style="list-style-type: none"> czas wysyłki obiektu technicznego informacje dotyczące obiektu technicznego | [138] |
| Bevilacqua, Braglia (2000) | Wybór strategii konserwacji | <ul style="list-style-type: none"> szkody spowodowane awarią polityka utrzymania ruchu koszt polityki utrzymania ruchu | [141] |

3.1.5. NARZĘDZIA PROGNOSTYCZNE W OCENIE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Kolejnym narzędziem wykorzystywanym w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych są prognozy. Narzędzia prognostyczne nie dostarczają bezpośredniej informacji o poprawności lub niepoprawności funkcjonowania systemu. Wskazują one odpowiedź na pytanie: w jaki sposób system będzie funkcjonował w określonym horyzoncie czasu. Podejście integrujące narzędzia prognostyczne z odpowiednim grupowaniem działań konserwacyjnych wykorzystano do oceny dynamicznego modelu niezawodności [142]. Santoso Puteri i in. [143] zastosowali odmienne podejście – polegające na weryfikacji, w jakim stopniu system trakcyjny pociągu wykazuje wzorce degradacji w aspekcie wydajności. Podstawowa metoda prognozowania – metoda średniej ruchomej – została wykorzystana do przewidywania rzeczywistych wyników pomiarów ze stacji elektroenergetycznych [144]. W literaturze wykorzystano model regresji wektorów nośnych [145] i modele regresji [146,147]. Ocena stanu technicznego stanowi jeden z podstawowych elementów systemów eksploatacji. Niemniej jednak równie ważny jest aspekt bezpieczeństwa. Odpowiedni poziom bezpieczeństwa jest możliwy poprzez prognozowanie niezawodności systemu [148]. Tabela 3.5 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania narzędzi prognostycznych w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.5. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – narzędzia prognostyczne w ocenie obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|---|--|---|----------------------|
| Aizpurua, Catterson, Papadopoulos, Chiacchio, D'Urso (2019) | ocena online dynamicznego modelu niezawodności | <ul style="list-style-type: none"> stopień wpływu każdego zasobu na awarię systemu | [142] |
| Santoso Puteri, Indriawati (2025) | oszacowanie pozostałego okresu użytkowania podzespołów | <ul style="list-style-type: none"> prędkość pociągu siła hamowania moment obrotowy silnika | [143] |

| | | | |
|---|--|--|-------|
| Zhang, Zhang, Yu, Yang, Zhang, Sun, Wang (2024) | ocena stanu działania sieci dystrybucyjnej | <ul style="list-style-type: none"> ocena urządzenia transformatorowego punktacja związana z określoną grupą usterek | [144] |
| Fan, Peng, Zhang, Zhou, Jia (2021) | ocena i prognozowanie trendów stanu pracy transformatora rozdzielczego | <ul style="list-style-type: none"> aktualny stan pracy transformatora rozdzielczego historyczny stan pracy transformatora rozdzielczego | [145] |
| Tianshan, Bo (2016) | prognozowanie awaryjności urządzeń stacji elektroenergetycznych | <ul style="list-style-type: none"> krzywe awaryjności | [146] |
| Yan, Koc, Lee (2004) | ocena wydajności obiektów technicznych | <ul style="list-style-type: none"> prawdopodobieństwo wystąpienia awarii stan obiektu technicznego | [147] |
| Cheng, Zhou, Li, Li, Wang, Pei (2020) | prognozowanie niezawodności systemu kontroli ruchu lotniczego | <ul style="list-style-type: none"> parametry niezawodności modułu systemu dane statystyczne dotyczące eksploatacji i działań konserwacyjnych | [148] |

3.1.6. ALGORYTMY OCENY OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Ocena systemów eksploatacji obiektów technicznych wymaga gromadzenia, przetwarzania i analizowania znacznych ilości zbiorów danych. W tym celu wykorzystywane są także algorytmy. Ich zadaniem jest wspomaganie oceny funkcjonowania systemu. Podejście algorytmiczne zostało wykorzystane w wielu aspektach m.in. do oceny bezpieczeństwa [149] i analizie niezawodności człowieka [150]. W ramach przeprowadzonego przeglądu literatury zidentyfikowano wykorzystanie różnych algorytmów, w tym: algorytmu reguł korelacji [151], algorytmu reguł asocjacyjnych [151], algorytmu fuzji różniczkowej rzędu ułamkowego [152], algorytmu równoważenia linii [153] i algorytmu dyspozytorskiego [154]. Tabela 3.6 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania algorytmów w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.6. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – algorytmy oceny obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|--|--|----------------------|
| Li, Pan, Chen, Zhang, Mao (2024) | model bezpieczeństwa dostaw energii w systemie | <ul style="list-style-type: none"> prawdopodobieństwo i waga zdarzenia wskaźnik bezpieczeństwa dostaw energii do sieci | [149] |
| Sheeba, Jayaparvathy, Vedachalam, Singh (2026) | analiza niezawodności człowieka | <ul style="list-style-type: none"> czas trwania zadania awaryjność komponentów | [150] |
| Li, Mu (2023) | system monitorowania i konserwacji | <ul style="list-style-type: none"> dane operacyjne i alarmowe z urządzeń sygnalizacyjnych zamontowanych w pojeździe | [151] |
| Zuo, Cheng, Geng, Xia, Zhou (2023) | ocena stanu działania urządzeń produkcyjnych | <ul style="list-style-type: none"> typy usterek urządzeń produkcyjnych przyczyny usterek urządzeń produkcyjnych | [152] |

| | | | |
|--|---|---|-------|
| Singh, Asjad, Singh, Alam (2023) | konfiguracja maszyny w oparciu o kryteria niezawodności i wydajności produkcji | <ul style="list-style-type: none"> • niezawodność • wydajności • czasu cyklu | [153] |
| Zhao, Qi, Zhang (2010) | ocena systemu konserwacji | <ul style="list-style-type: none"> • okresy wykorzystania zasobów • wskaźniki wykorzystania zasobów | [154] |

3.1.7. MODELOWANIE PROCESÓW EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Modelowanie stanowi kolejne podejście rozważane w ramach oceny eksploatacji obiektów technicznych. Zastosowanie takiego podejścia umożliwia formalny opis struktury systemu, analizę jego zachowania i relacji pomiędzy poszczególnymi jego elementami. W tym zakresie zastosowanie znajdują modele symulacyjne, fizyczno-matematyczne i statystyczne. Nowe podejście do oceny niezawodności zaproponowali Bolacelli in. [155] ponieważ wykorzystali oni technologię dynamicznej obciążalności linii. Podejście modelowe zostało wykorzystane do oceny: zużycia paliwa eksploatacyjnego [156], jakości działania systemów człowiek-maszyna-otoczenie [157] i oceny stanu stacji ładowania [158].

Modelowanie symulacyjne to rozwiązanie, które również wykorzystywano w literaturze do oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych. Zastosowanie tego narzędzia umożliwia uwzględnienie losowości i zmienności warunków funkcjonowania systemu. Zaletą takiego podejścia jest brak konieczności ingerencji w obiekt rzeczywisty. Modelowanie symulacyjne wykorzystano w ocenie niezawodności systemów energetycznych [159] poprzez wykorzystanie symulacji Monte Carlo. Metoda Monte Carlo była wykorzystana również do ujęcia losowości i niepewności niezawodności mikrosieci [160] i oceny niezawodności, dostępności, obsługiwalności i bezpieczeństwa systemów [161]. Przeprowadzenie oceny systemów obiektów technicznych możliwe jest także poprzez wykorzystanie modelowania za pomocą grafów. Reprezentacja systemu za pomocą grafu pozwala na analizę struktury systemu. Szczególne znaczenie zyskują metody o charakterze probabilistycznym, takie jak technika graficznej oceny i przeglądu (GERT) [162] i sieci analitycznej [163]. Teorie grafów w literaturze wykorzystano do oceny gotowości [164], efektywności [165] i zrównoważonego rozwoju [166] systemów. Modelowanie może odbywać się za pomocą dedykowanego oprogramowania do symulacji zdarzeń [167]. Tabela 3.7 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania teorii modelowania w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.7. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – modelowanie procesów eksploatacji obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|---|---|-------------------------|
| Bolacell, Rosa, Silva, Vieira, Carvalho (2022) | probabilistyczne ramy do obliczenia wpływu technologii DLR na ocenę niezawodności operacyjnej systemów wieloobszarowych | <ul style="list-style-type: none"> • przepustowość linii przesyłowej • obciążenie systemu w czasie • liczba magistrali w systemie • ograniczenie obciążenia na magistrali | [155] |

| | | | |
|---|---|--|-------|
| Sitnik, Magdziak-Tokłowicz, Andrych-Zalewska (2017) | ocena zużycia paliwa eksploatacyjnego | <ul style="list-style-type: none"> • czas pracy • zużycie paliwa | [156] |
| Muślewski, Woropay, Bojar (2012) | ocena jakości działania systemów człowiek-maszyna-otoczenie | <ul style="list-style-type: none"> • liczba obserwacji • liczba cech systemu • typ rozkładu dla cech • parametry rozkładu zmiennych losowych | [157] |
| Fang, Liao, Huang, Zhang (2024) | ocena stanu, eksploatacji i konserwacji | <ul style="list-style-type: none"> • stan techniczny urządzeń stacji ładowania • zachowania użytkowników | [158] |
| Liu, Ping, Mu, Mansuer, Liu (2024) | ocena niezawodności działania morskich systemów energetycznych | <ul style="list-style-type: none"> • wskaźnik ilości strat obciążenia • wskaźnik stanu operacyjnego systemu | [159] |
| Weng, Zhou, Zhan (2022) | ocena niezawodności autonomicznej mikrosieci | <ul style="list-style-type: none"> • prawdopodobieństwo utraty obciążenia • średni wskaźnik dostępności • średnia częstotliwość przerw w systemie • wskaźnik średniego czasu trwania przerw w systemie | [160] |
| Shalev, Tiran, Katoshevski, Bortman (2016) | podejmowanie decyzji dotyczących eksploatacji i konserwacji | <ul style="list-style-type: none"> • niezawodność • dostępność | [161] |
| Zhang, Fang, Dong (2025) | ocena wkładu (roli i wartości) sprzętu z perspektywy struktury ESoS (equipment system of systems) | <ul style="list-style-type: none"> • prawdopodobieństwo ukończenia zadania • czas ukończenia zadania • stopień ukończenia zadania | [162] |
| Horenbeek, Pintelon (2014) | wybór wskaźników efektywności konserwacji | <ul style="list-style-type: none"> • cele konserwacji • wydajność konserwacji • wskaźnik efektywności utrzymania ruchu | [163] |
| Figurski, Kołosowski, Sterniczuk, Ziółkowski (2015) | ocena gotowości pojazdów specjalnych w sytuacjach kryzysowych | <ul style="list-style-type: none"> • liczba stanów eksploatacyjnych • liczba przejść pomiędzy poszczególnymi stanami eksploatacyjnymi • średnie czasy przebywania w poszczególnych stanach | [164] |
| Siergiejczyk (2008) | ocena efektywności eksploatacyjnej systemów telematki transportu | <ul style="list-style-type: none"> • prawdopodobieństwo wykorzystania systemu • wskaźnik gotowości operacyjnej • wskaźnik efektywności eksploatacyjnej | [165] |
| Zhao, Cai, Zeng, He, Liu (2024) | ocena zrównoważonego rozwoju wieloskładnikowego systemu | <ul style="list-style-type: none"> • degradacja • konserwacja | [166] |

| | | | |
|--------------------|--|---|-------|
| Kierzkowski (2013) | ocena zgodności procesu eksploatacji obiektu z założonym harmonogramem | <ul style="list-style-type: none"> intensywność zmian stanów | [167] |
|--------------------|--|---|-------|

3.1.8. OCENA CYKLU ŻYCIA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Ocena cyklu życia (LCA) stanowi, kolejne, istotne narzędzie do oceny eksploatacji obiektów technicznych. Modelowanie, zbiory rozmyte i algorytmy koncentrują się głównie na aspektach technicznych oraz czynnika ludzkim. Natomiast LCA skupia się również na analizie oddziaływania na środowisko w całym cyklu życia systemu/obiektu technicznego. Przegląd podejść stosowanych w analizie LCA infrastruktury kolejowej i drogowej wskazuje, że dobór metody konserwacji powinien uwzględniać koszt utrzymania w cyklu życia [168]. Co więcej wybór metody konserwacji powinien być jednocześnie uzależniony od kontekstu decyzyjnego [168]. W literaturze do modelu oceny obiektu technicznego wykorzystano czynniki [169]: środowiskowe, ekonomiczne i społeczne. Liu i in. [170] dokonali w swojej pracy podziału na dwie grupy czynników: ekonomiczne i pozaekonomiczne. Przeprowadzanie oceny za pomocą LCA jest zależne od specyfiki systemu. Przykładowo Daskiran i in. [171] uwzględnili w swoich badaniach specyfikę analizowanego obiektu poprzez rozszerzenie analizy o elementy takie jak emisje wody, chemikaliów i energii. Natomiast Chamier-Gliszczyński skoncentrował się na przeprowadzeniu odzysku elementów i materiałów z pojazdu [64]. LCA znalazło również zastosowanie do analizy wpływu różnych strategii eksploatacji i konserwacji obiektów [172]. Analiza oceny cyklu życia pozwala również na identyfikację obszarów stanowiących obciążenie dla środowiska. Dodatkową zaletą wykorzystania tego podejścia jest podejmowanie decyzji eksploatacyjnych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Tabela 3.8 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania teorii cyklu życia w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.8. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – ocena cyklu życia obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|--|--|----------------------|
| Chamier-Gliszczyński (2010) | analiza cyklu życia obiektów technicznych w transporcie | <ul style="list-style-type: none"> zbiór elementów do oceny stanu technicznego zbiór elementów do ponownego użycia i regeneracji | [64] |
| Koper (2012) | ocena cyklu życia obiektu technicznego z uwzględnieniem współzależności pomiędzy aspektami | <ul style="list-style-type: none"> środowiskowe ekonomiczne społeczne | [169] |
| Liu, Zhang, Qian, Chen, Bi (2023) | utrzymanie infrastruktury sieci drogowej | <ul style="list-style-type: none"> ekonomiczne pozaekonomiczne | [170] |
| Daskiran, Gulhan, Guven, Ozgun, Ersahin (2022) | ocena scenariuszy eksploatacji pełnoskalowej oczyszczalni ścieków | <ul style="list-style-type: none"> parametry eksploatacyjne oczyszczalni parametry operacyjne parametry zanieczyszczeń | [171] |

| | | | |
|--|---|---|-------|
| Garcia-Teruel, Rinaldi, Thies, Johanning, Jeffrey (2022) | ocena eksploatacji i konserwacji morskich farm wiatrowych | <ul style="list-style-type: none"> • materiały i produkcja • instalacja • obsługa i konserwacja • likwidacja i utylizacja | [172] |
|--|---|---|-------|

3.1.9. ANALIZA RYZYKA

Identyfikacja zagrożeń związanych z użytkowaniem systemu jest możliwa dzięki zastosowaniu narzędzi analizy ryzyka. Stosowanie metod oceny ryzyka wymaga gromadzenia danych i ich przetwarzania. Na ich podstawie możliwe jest określenie prawdopodobieństwa występowania zdarzeń niepożądanych i ich konsekwencji. Ocena ryzyka wspiera planowanie i dobór odpowiednich mechanizmów reagowania. W literaturze przedmiotu analizę ryzyka dokonano w oparciu o sieci bayesowskie [173], sieci neuronowe spłotowe [174], modele równań strukturalnych i modele rozszerzenia materii i elementów [175], logiki rozmytej [176] i analizy FMEA [177]. Analiza ryzyka jest też narzędziem do podejmowania decyzji związanych z planowaniem konserwacji [178] i częstotliwości przeglądów obiektów technicznych [179]. Analiza ryzyka stanowi zatem narzędzie umożliwiające ocenę systemu w zakresie bezpieczeństwa i niezawodności. Tabela 3.9 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania analizy ryzyka w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.9. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – analiza ryzyka.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|--|--|----------------------|
| Li, Shi, Li, Zeng, Zhang, Yu, Yan, Li (2025) | ocena ryzyka eksploatacji urządzeń | <ul style="list-style-type: none"> • współczynnik awaryjności i szybkość napraw • prawdopodobieństwo warunkowe dla skutków wypadku | [173] |
| Yao, Li, Liang, Wang, Ke, Chuai, Li (2025) | ocena ryzyka stacji elektroenergetycznych | <ul style="list-style-type: none"> • ryzyko operacyjne • kategorie sprzętu • wskaźniki błędów | [174] |
| Li, Dang, Yu, Feng (2025) | ocena ryzyka bezpieczeństwa eksploatacji metra | <ul style="list-style-type: none"> • czynniki personalne • czynniki związane z obiektami i wyposażeniem • czynniki zarządzania • czynniki środowiskowe | [175] |
| Wu, Gao, Zheng (2022) | ocena ryzyka systemu komunikacji | <ul style="list-style-type: none"> • czynniki biznesowe • czynniki sieciowe • czynniki fizyczne • czynniki zarządzania | [176] |
| Wang, Cheng, Hu, Wu (2012) | opracowanie strategii konserwacji opartej na ryzyku | <ul style="list-style-type: none"> • prawdopodobieństwo awarii • ocena skutków awarii | [177] |
| Kan, Haddara (2003) | ilościowe podejście do planowania i harmonogramowania konserwacji/przeglądów | <ul style="list-style-type: none"> • scenariusze awarii • ocena skutków (utrata zdrowia, starty ekonomiczne, środowiskowej i wydajności) | [178] |
| Sobral, Ferreira (2015) | ustalenie optymalnej częstotliwości przeglądów obiektów technicznych | <ul style="list-style-type: none"> • prawdopodobieństwo uszkodzenia • skutki konsekwencji uszkodzenia | [179] |

3.1.10. POZOSTAŁE PODEJŚCIA W ZAKRESIE OCENY FUNKCJONOWANIA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Metody oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych stanowią istotny element działalności inżynierskiej. Poza omówionymi w rozdziałach 3.1.1 – 3.1.9 w literaturze identyfikuje się szereg innych koncepcji umożliwiających ocenę systemów eksploatacji. Ocena systemów eksploatacji jest prowadzona w oparciu o zestawy parametrów techniczno-eksploatacyjnych [180] oraz grupy uwarunkowań społecznych, ekonomicznych, środowiskowych i technologicznych [181]. Zheng i in. [182] w ocenie bezpieczeństwa eksploatacji uwzględnili czynniki prawne, tj. przepisy i obowiązujące ustawy. W procesie oceny stosuje się metody graficzne [183] a także podejście TPM (Total Productive Maintenance) [184]. Ponadto modele oceny uwzględniają zastosowanie krzywych czasu obciążenia systemu [185]. Wspomniane dotychczas metody i modele oceny systemów eksploatacji opierały się przede wszystkim na podejściu ilościowym. Odmianą perspektywę zaprezentował Dauer [186], który opracował jakościową metodę oceny procesu odnowy. Modele lub metody oceny systemów stanowią także narzędzie wspierające podejmowanie decyzji. Wynika to przede wszystkim z potrzeby zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa systemów [187] i wartościowania polityki eksploatacyjnej [188]. Tabela 3.10 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wykorzystania pozostałych podejść w ocenie systemów eksploatacji obiektów technicznych ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.10. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – pozostałe podejścia w zakresie oceny funkcjonowania obiektów technicznych.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|--|---|----------------------|
| Owczarek (2024) | opracowanie zbioru wskaźników eksploatacyjnych do oceny efektywności | <ul style="list-style-type: none"> wskaźnik wykorzystania czasu pracy pojazdu wskaźnik efektywności pracy pojazdu wskaźnik intensywności użytkowania pojazdu wskaźnik gotowości technicznej pojazdu wskaźnik wykorzystania potencjału użytkowego wskaźnik efektywności ekonomicznej | [180] |
| Zhang, Zhao, Ren, Zhou, Zhao, Zhao (2025) | ocena poziomu efektywności eksploatacji i utrzymania ruchu | <ul style="list-style-type: none"> wpływ aspektów społecznych i ekonomicznych presja i wpływ na obiekt badań czynników zewnętrznych główne cechy obiektu | [181] |
| Zheng, Zhang, Wu, Li, Yang, Wu, Liu (2025) | ocena bezpieczeństwa eksploatacji kolei dużych prędkości | <ul style="list-style-type: none"> czynniki personalne czynnik wyposażenia współczynnik jakości czynnik prawny czynnik środowiskowy współczynnik monitorowania | [182] |
| Gunckel, Márquez, | ocena wydajności operacyjnej | <ul style="list-style-type: none"> informacje o interwencji naprawczej, zapobiegawczej i operacyjnej informacje o czasie interwencji | [183] |

| | | | |
|---------------------------------------|---|--|-------|
| Martínez, González (2017) | | <ul style="list-style-type: none"> informacje o produkcji – wielkości o zdolności | |
| Michłowicz (2022) | ocena systemu produkcyjnego | <ul style="list-style-type: none"> efektywność obiektów technicznych dostępność obiektów technicznych wskaźnik efektywności procesu średni czas pomiędzy awariami średni czas naprawy | [184] |
| Ma, Liu, Chen, Cui, Wang, Yuan (2018) | ocena efektywności operacyjnej sieci dystrybucyjnej | <ul style="list-style-type: none"> efektywność obiektu technicznego wydajność operacji hierarchicznych efektywność działania systemu stopień równowagi hierarchicznej | [185] |
| Dauer (2020) | ocena procesu eksploatacji urządzeń | <ul style="list-style-type: none"> czas, w którym obiekt znajduje się w stanie przydatności czas usunięcia nieprzydatnego obiektu wykonywanie napraw zapobiegawczych realizacja działań zapobiegawczych | [186] |
| Bojar, Woropay, Szubartowski (2013) | ocena bezpieczeństwa eksploatacji systemów transportowych | <ul style="list-style-type: none"> liczba osób, które zginęły w wypadkach liczba wypadków | [187] |
| Loska, Dąbrowski (2014) | ocena polityki eksploatacyjnej | <ul style="list-style-type: none"> średni czas pomiędzy zdarzeniami średni czas reakcji na zdarzenie średni czas naprawy koszty zorientowane na obiekty techniczne koszty zorientowane na zasoby eksploatacyjne | [188] |

3.2. STAN WIEDZY W ZAKRESIE OCENY PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ

Proces obsługi naziemnej statku powietrznego obejmuje szeroki zakres czynności, które bezpośrednio wpływają na funkcjonowanie portów lotniczych. W literaturze przedmiotu proces ten jest również identyfikowany jako postój statku powietrznego na stanowisku postojowym [189]. Jego prawidłowa organizacja i realizacja mają znaczenie dla funkcjonowania portów lotniczych, wpływając bezpośrednio na terminowość operacji lotniczych [21] i bezpieczeństwo [15]. W literaturze identyfikuje się liczne prace koncentrujące się na analizie procesów obsługi naziemnej, dotyczą one m.in. wydajności i optymalizacji procesów [190], bezpieczeństwa [191], przewagi konkurencyjnej [192], automatyzacji [193] i aspektów związanych ze zrównoważonym rozwojem [13,194]. Zakres badań dotyczących obsługi naziemnej statków powietrznych jest bardzo szeroki i obejmuje zagadnienia związane z organizacją, realizacją i optymalizacją procesów operacyjnych. Niemniej jednak w kontekście efektywności operacyjnej, kosztów oraz bezpieczeństwa szczególnego znaczenia nabiera opracowywanie modeli umożliwiających ocenę tych procesów. Z tego względu przegląd literatury dotyczący procesów obsługi naziemnej został ukierunkowany na identyfikację czynników i wskaźników analizowanych w kontekście oceny procesów obsługi naziemnej. Przegląd w zakresie oceny procesów obsługi naziemnej został podzielony na kilka obszarów: projektowanie, wydajność, harmonogramowanie, modelowanie, planowanie i czynnik ludzki. Podział ten wynika z potrzeby uwzględnienia aspektów technicznych i organizacyjnych procesu obsługi naziemnej.

3.2.1. PROJEKTOWANIE PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ

Tematyka procesów obsługi naziemnej jest ściśle związana z obszarem projektowania infrastruktury lotniskowej. Obecnie porty lotnicze koncentrują się na poszukiwaniu rozwiązań, które pozwalają na redukcję zanieczyszczeń oraz ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Należy podkreślić, że utworzona infrastruktura nie może zostać łatwo zmodyfikowana jako odpowiedź na zmieniające się potrzeby operacyjne. Dostosowanie infrastruktury powinno uwzględniać czynniki związane z zapewnieniem odpowiedniego poziomu wydajności i utrzymaniem wymaganego poziomu bezpieczeństwa. Rozwiązania infrastrukturalne stosowane w praktyce powinny uwzględniać także przemiany zachodzące w lotnictwie. W tym kontekście Kurzweil i Kolářová [195] zweryfikowali wymagania dotyczące wprowadzenia autonomicznych holowników na lotnisku jako element oceny gotowości. Praca ta koncentrowała się jednak na zastosowaniu wymagań dla lotniska i nie umożliwiała oceny procesu obsługi naziemnej jako całości. W literaturze rozważano również ocenę sytuacji, w której cały sprzęt obsługi naziemnej byłby zasilany energią elektryczną wytwarzaną przez panele słoneczne [196] i ocenę wykonalności i akceptacji inteligentnych podziemnych systemów tankowania [197].

Układ przestrzenny infrastruktury portu lotniczego stanowi jeden z kluczowych czynników wpływających na sposób realizacji operacji naziemnych statków powietrznych. Do oceny przepustowości portu lotniczego, w oparciu o projekt układu lotniska, zastosowano model symulacyjny integrujący podejście sieci kolejkowych z metodami uczenia maszynowego [198]. Problematykę przepustowości analizowano również poprzez modele regresji liniowej, Lasso i GBRT [199] i koncepcję cyfrowego bliźniaka [200]. Projektowanie portów lotniczych jest związane z koniecznością zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa operacyjnego. W tym aspekcie istotne jest uwzględnienie zagrożeń, które mogą pojawiać się podczas realizacji procesów obsługi. Z tego względu literatura poddaje analizie zagadnienia związane z ergonomią środowiska pracy [201].

Problematyka projektowania wykracza poza aspekty infrastrukturalne i obejmuje również uwarunkowania o charakterze prawnym. Interwencje polityczne mogą wzmacniać zależność między kulturą bezpieczeństwa a wynikami bezpieczeństwa pracy [202]. Odpowiednio zaprojektowana infrastruktura portów lotniczych powinna zapewniać wysoką przepustowość operacyjną. Gołda i in. [203] wskazali, że jednym z istotnych elementów oceny jest sposób alokacji statków powietrznych do bramek, który powinien być analizowany z perspektywy minimalizacji czasu przemieszczania się pasażerów przesiadających się między lotami obsługiwanymi przy różnych stanowiskach. Tabela 3.11 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu projektowania procesów obsługi naziemnej, ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.11. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu projektowania procesów obsługi naziemnej.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|---------------------------|--|---|----------------------|
| Kurzweil, Kolářová (2026) | ilościowa ocena wykrywania i rozpoznawania wykonawcy czynności procesu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none">trasy przejazdu pojazdów obsługi naziemnejmiejsca postoju statków powietrznychsieci komunikacyjne pojazdów obsługi naziemnejinfrastruktura ładowania | [195] |

| | | | |
|---|---|---|-------|
| Yıldız, Mutlu, Nagy, Kale (2023) | ocena zasilania energią słoneczną sprzętu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • dane techniczne dotyczące floty obsługi naziemnej • zużycie energii • emisja zanieczyszczeń | [196] |
| You, Yu, Chen, Kuo (2025) | ocena wykonalności i akceptacji inteligentnych podziemnych systemów tankowania | <ul style="list-style-type: none"> • zaufanie do technologii • kompatybilność technologii • bezpieczeństwo technologii • adaptacja technologii | [197] |
| Chen, Chong, Liu, Qiao, Wang, Tan (2024) | ocena przepustowości lotniska | <ul style="list-style-type: none"> • liczba stanowisk postojowych • prawdopodobieństwo stanu kolejki po przylocie statku powietrznego • prawdopodobieństwo natychmiastowego zakończenia obsługi statku powietrznego • liczba statków powietrznych oczekujących • czas między przylotami statków powietrznych • czas przylotu statku powietrznego • średni czas opóźnienia statku powietrznego • średni całkowity czas postoju statku powietrznego • przepustowość portu lotniczego | [198] |
| Tang, Zhang, Fuellhart (2025) | przewidywanie operacji kołowania dla lotów przylotowych | <ul style="list-style-type: none"> • pas startowy • typ statku powietrznego • linia lotnicza • odległość kołowania | [199] |
| Liu, Zhang, Chen, Liu, Hu, Luo, Chen (2024) | przewidywanie operacji kołowania | <ul style="list-style-type: none"> • liczba lotów przylatujących lub odlatujących • odległość kołowania statku powietrznego od miejsca lądowania do stanowisk postojowego • liczba pasów startowych • typ statku powietrznego • rodzaj linii lotniczych • czas kołowania dla lotów przylatujących | [200] |
| Durmaz, Yazgan, Kucuk Yilmaz (2021) | ramy wydajności personelu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • harmonogram pracy • komunikacja • wiedza • zmęczenie fizyczne | [201] |
| Musa, Isha (2020) | ocena zależności pomiędzy poziomem kultury bezpieczeństwa a osiąganymi wynikami w zakresie bezpieczeństwa | <ul style="list-style-type: none"> • postrzegane zaangażowanie kierownictwa • komunikacja i raportowanie w zakresie bezpieczeństwa • presja na ukończenie pracy • dobrowolne interwencje polityczne • szkolenia i kompetencje • środowisko pracy • wypadki | [202] |
| Gołda, Kowalski, Wasser, | ocena możliwości zwiększenia | <ul style="list-style-type: none"> • zbiór lotów wykonywanych przez duże statki powietrzne | [203] |

| | | | |
|-----------------------------|-------------------------|---|--|
| Dygnatowski, Szporka (2019) | przepustowości lotniska | <ul style="list-style-type: none"> • zbiór stanowisk postojowych nieprzystosowanych do obsługi dużych statków powietrznych • początek okna czasowego obsługi naziemnej statku powietrznego • koniec okna czasowego dla obsługi statku powietrznego • czas zajęcia stanowiska postojowego • jednostkowy koszt kary za nieterminową obsługę lotu • czas przejścia pasażerów między stanowiskami • liczba pasażerów przesiadających się między lotami | |
|-----------------------------|-------------------------|---|--|

3.2.2. WYDAJNOŚĆ PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ

Ocena wydajności procesów obsługi naziemnej statków powietrznych stanowi istotny element zarządzania operacjami w portach lotniczych. Problematyka zwiększania wydajności procesów obsługowych analizowana jest z wykorzystaniem koncepcji cyfrowego bliźniaka, która umożliwia odwzorowanie i analizę przebiegu operacji w środowisku cyfrowym. Niemniej jednak wysoki poziom bezpieczeństwa wymagany w procesach obsługi naziemnej powoduje, że badania w tym obszarze napotykają ograniczenia. Ograniczenia te są efektem braku możliwości wdrażania i testowania inteligentnych rozwiązań bezpośrednio w rzeczywistym obiekcie [204] jakim jest port lotniczy. Technologia cyfrowego bliźniaka stwarza jednocześnie możliwość analizy i oceny tras przemieszczania się pojazdów obsługi naziemnej [200].

Zagadnienie wydajności jest analizowane w kontekście wspólnego podejmowania decyzji. W celu przewidywania opóźnień oraz optymalizacji wykorzystania przedziałów czasowych przeznaczonych na operacje lotnicze zastosowano model kaskadowego drzewa regresyjnego z wielowyjściowym wzmocnieniem gradientowym (CMO-GBRT) [205]. Wzrost efektywności wykorzystania zasobów portów lotniczych jest możliwy do osiągnięcia poprzez wykorzystanie statystycznego modelowania czasu trwania obsługi. Statystyki opisowe, takie jak średnia, wariancja, mediana, skośność i kurtoza, umożliwiają charakterystykę rozkładów statystycznych, tym samym wspierają formułowanie ukierunkowanych strategii i optymalizację alokacji zasobów [206]. Skrócenie czasu realizacji poszczególnych operacji stanowi jeden z kluczowych elementów zwiększania wydajności procesów obsługowych. W literaturze wskazuje się, że redukcję czasu obsługi bagażu można osiągnąć poprzez zastosowanie metodyki Six Sigma DMAIC oraz analizę zdolności procesu [207].

Poprawa wydajności obsługi naziemnej jest osiągana poprzez usprawnianie pojedynczych operacji. Zastosowanie algorytmów rozpoznawania obrazu wspomaga identyfikację oraz klasyfikację bagażu podręcznego, a także umożliwia identyfikację potencjalnych wąskich gardeł w procesie boardingu [208]. Badania Zhang i in. [209] wykazały, że zmiany w czasie realizacji takich operacji jak sprzątnięcie kabiny pasażerskiej, catering i odłączanie rękawów pasażerskich nie wpływają istotnie na przebieg operacji krytycznych. W związku z tym w literaturze podejmowane są próby wykorzystania metod modelowania procesów do analizy potencjalnych zakłóceń występujących w obsłudze naziemnej. Przykładem są hierarchiczne, czasowe i kolorowe sieci Petriego, które umożliwiają analizę zakłóceń [210]. Sieci Petriego były również wykorzystywane do opracowania modelu opisu procesu obsługi naziemnej z uwzględnieniem transformacji

czasowej [211]. Wpływ skuteczności organizacji procesu wejścia na pokład statku powietrznego analizowano za pomocą modelu symulacyjnego opartego na agentach [212] i metody FRAM [213].

Wydajność procesów obsługi naziemnej jest również powiązana z pojęciem przepustowości systemu operacyjnego. Sprzęt do obsługi naziemnej był jedną z kategorii oceny pionowej w modelu optymalizacji przepustowości portu lotniczego [214]. Na przepustowość, ale również na czas postoju, wpływają zakłócenia. Do identyfikacji zakłóceń oraz oceny niezawodności procesu postoju statku powietrznego zastosowano podejście oparte na metodach przyczynowych oraz modelach symulacyjnych [215].

Przepustowość operacji realizowanych na płycie lotniska jest także związana z wymaganiami bezpieczeństwa. Kwestie związane z doskonaleniem zarządzania bezpieczeństwem na płycie lotniska zostały podkreślone przez Studica i in. [216], którzy zastosowali systemowe podejście do zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa pojazdów obsługi naziemnej poprzez wykorzystanie koncepcji Total Apron Safety Management (TASM). W literaturze zwraca się również uwagę na potrzebę holistycznej oceny ryzyka operacji naziemnych na lotniskach. Takie podejście pozwala na integrację działania wszystkich zaangażowanych stron. W tym celu opracowano model procesowy operacji naziemnych z wykorzystaniem ram koncepcyjnych modelowania procesów biznesowych [217]. Tabela 3.12 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wydajności procesów obsługi naziemnej, ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.12. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wydajności procesów obsługi naziemnej.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|---|--|----------------------|
| Lu, Pang, Lu, Ji, Jiang (2025) | zwiększenie wydajności operacji procesu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • prędkość urządzeń na płycie postojowej • przebieg pracy czynności procesu obsługi naziemnej • zasady działania urządzeń obsługowych | [204] |
| Tang, Wu, Wu, Ding, Zhang (2025) | predykcja czasów postoju statku powietrznego | <ul style="list-style-type: none"> • czynności procesu obsługi naziemnej • czasy trwania czynności procesu obsługi naziemnej • całkowity czas realizacji czynności procesu obsługi naziemnej • typ statku powietrznego • typ stanowiska postojowego • liczba pasażerów przylatujących i odlatujących | [205] |
| Bergmann, Hub (2025) | przewidywanie poziomu zajętości schowków bagażowych | <ul style="list-style-type: none"> • kategoria bagażu • liczba sztuk bagażu • pojemność schowka statku powietrznego | [206] |
| Al-Qatawneh, Arafeh, Barghash, Shihabeddin, Mahmoud, Odeh (2025) | skrócenie czasu obsługi bagażu | <ul style="list-style-type: none"> • czas obsługi bagażu po przylocie statku powietrznego • typ statku powietrznego | [207] |
| Li, Hu, Hu, Zhao, Wang (2025) | zwiększanie efektywności | <ul style="list-style-type: none"> • czas rozpoczęcia czynności procesu obsługi naziemnej | [208] |

| | | | |
|--|---|--|-------|
| | wykorzystania zasobów | <ul style="list-style-type: none"> • czas zakończenia czynności procesu obsługi naziemnej • typ statku powietrznego • planowany czas odlotu statku powietrznego | |
| Płanda, Skorupki (2025) | ocena wejścia na pokład statku powietrznego w warunkach zakłóceń | <ul style="list-style-type: none"> • etapy procesu wejścia na pokład statku powietrznego • strategię wejścia na pokład statku powietrznego | [210] |
| Nugroho, Asrol (2022) | zwiększenie efektywności procesu boardingu pasażerów | <ul style="list-style-type: none"> • liczba pasażerów • liczba bagaży • czas zajmowania miejsca przez pasażera na pokładzie statku powietrznego | [212] |
| Płanda, Skorupki (2020) | identyfikacja czynników niepewności w największym stopniu wpływających na niezawodność procesu boardingu | <ul style="list-style-type: none"> • czas trwania czynności procesu obsługi naziemnej • chwila zamknięcia pokładu statku powietrznego • grupy pasażerów (priorytety) • gotowość pasażerów | [213] |
| Cui, Ma, Ding, He, Xiao, Cheng (2024) | prognozowanie czasu obrotu statku powietrznego | <ul style="list-style-type: none"> • czas trwania czynności procesu obsługi naziemnej • prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia w procesie obsługi naziemnej • liczba miejsc na pokładzie statku powietrznego • typ statku powietrznego | [211] |
| Zhang, Jiang, Yang, Liu (2023) | analiza wpływu czasu realizacji poszczególnych czynności obsługi na przebieg operacji na płycie lotniska | <ul style="list-style-type: none"> • czas rozpoczęcia czynności procesu obsługi naziemnej • czas zakończenia czynności procesu obsługi naziemnej | [209] |
| Štimac, Vidović, Mihetec, Drljača (2020) | optymalizacja operacji pod kątem maksymalnego wykorzystania przepustowości technicznej i technologicznej portu lotniczego | <ul style="list-style-type: none"> • ramy regulacyjne • infrastruktura lotniskowa – pas startowy i płyta postojowa • infrastruktura terminalowa – terminal pasażerski • infrastruktura techniczna – sprzęt do obsługi naziemnej | [214] |
| Nosedal Sánchez, Piera Eroles (2018) | ocena niezawodności procesu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • czasu trwania operacji procesu obsługi naziemnej | [215] |
| Studic, Majumdar, Schuster, Ochieng (2017) | modelowanie operacji na płycie postojowej | <ul style="list-style-type: none"> • liczba statków powietrznych • sezonowość ruchu lotniczego • pora dnia • warunki pogodowe • kultura regionalna • sprzęt obsługi naziemnej | [216] |

| | | | |
|---------------------------------------|--|---|-------|
| Wilke, Majumdar, Ochieng (2014) | holistyczna ocena ryzyka operacji naziemnych w portach lotniczych | <ul style="list-style-type: none"> • infrastruktura fizyczna lotniska (pas startowy, płyta postojowa, terminal) • czynności procesu obsługi naziemnej statku powietrznego • zasoby ludzkie | [217] |
|---------------------------------------|--|---|-------|

3.2.3. PROBLEM TRASOWANIA I HARMONOGRAMOWANIA PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ

Zespoły odpowiedzialne za realizację procesów obsługowych wykonują zadania na różnych stanowiskach. Wymaga to zarówno przemieszczania się między nimi, jak i systematycznego uzupełniania zapasów [218]. Z tego względu problem trasowania i planowania ruchu pojazdów obsługi naziemnej na lotniskach stanowi złożone zagadnienie. Wynika to przede wszystkim z dwóch aspektów. Pierwszy dotyczy niepewności operacji postojowych statków powietrznych. Drugi z kolei możliwości pojawienia się opóźnień na różnych etapach realizacji zadania transportowego. Opracowany w 2025 roku kompleksowy przegląd literatury dotyczący harmonogramowania sprzętu w ramach usług obsługi naziemnej statków powietrznych wykazał, że kluczowymi wyzwaniami w tym obszarze są [219]: niepewność operacyjna i konieczność opracowywania rozwiązań zwiększających adaptacyjność stosowanych procedur i systemów. Do rozwiązania problemu harmonogramowania i trasowania wykorzystano: metodę RCPS (Resource-Constrained Project Scheduling Problem) [220], model programowania całkowitoliczbowego GRAP (IPGRAP) [221] i metodę wektorów wsparcia (SVM) [222].

Kluczowym elementem procesu optymalizacji harmonogramowania i trasowania jest odpowiednie konstruowanie efektywnych misji [223]. Znalazło to odzwierciedlenie w pracy Dupaqujest i in. [223], którzy rozważali problem harmonogramowania dostaw żywności dla dużych operacji lotniskowych poprzez opracowanie formuły mieszanego programowania liniowego całkowitoliczbowego (MILP). Z kolei Zhou i in. [224] rozwinęli to podejście o zastosowanie metody LNS (Large Neighborhood Search), uzupełnionej o mechanizmy uczenia maszynowego. Poprawę efektywności trasowania pojazdów osiąga się także poprzez wykorzystanie sieci neuronowej trenowanej z wykorzystaniem uczenia wzmacniającego [225].

W literaturze przedmiotu zagadnienia harmonogramowania analizowane są w ujęciu wielokryterialnym. Do rozwiązywania dwukryterialnego problemu planowania obsługi naziemnej wykorzystano metodę iSIM (Improved Sequence Iterative Method), której celem jest redukcja czasu obliczeń i efektywna eksploracja rozwiązań [226]. Z kolei Yao i in. [227] opracowali dwuetapowy model optymalizacji planowania zasobów lotniskowych. Model ten skupiał się na wyznaczeniu alokacji stanowisk postojowych z uwzględnieniem operacji realizowanych przez ciągniki holownicze i pojazdy obsługi naziemnej oraz optymalizacji przydziału zadań.

Obecne badania dotyczące problemu harmonogramowania koncentrują się również na zagadnieniach automatyzacji zadań obsługi naziemnej przy wykorzystaniu autonomicznego sprzętu. Do rozwiązania tego problemu wykorzystano mieszane modele programowania całkowitoliczbowego liniowego i nieliniowego [228].

Tabela 3.13 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wydajności procesów obsługi naziemnej, ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.13. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu problemu trasowania i harmonogramowania procesów obsługi naziemnej.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|---|--|----------------------|
| Guardo-Martinez, Onggo, Kunc, Padrón, Tomasella (2026) | planowanie lotów w warunkach niepewności | <ul style="list-style-type: none"> minimalny czas procesu obsługi naziemnej | [218] |
| Kuster, Jannach (2006) | ocena wymagań dotyczących systemów wspomagania decyzji w zarządzaniu zakłóceniami operacyjnymi | <ul style="list-style-type: none"> czas trwania czynności procesu obsługi naziemnej chwile rozpoczęcia poszczególnych czynności procesu obsługi naziemnej liczba jednostek zasobu potrzebna dla czynności procesu obsługi naziemnej zależności między czynnościami procesu obsługi naziemnej | [220] |
| Andreatta, De Giovanni, Monaci (2014) | problem określenia efektywnego przydziału sprzętu i personelu obsługi naziemnej do statków powietrznych | <ul style="list-style-type: none"> zbiór zadań czynności procesu obsługi naziemnej zbiór pracowników procesu obsługi naziemnej zbiór zasobów technicznych parametry zgodności pracowników z zasobami oraz zgodności czasowej koszty przypisania zespołu i pracownika | [221] |
| Mamdouh, Ezzat, Hefny (2020) | przewidywanie zapotrzebowania i alokacji zasobów | <ul style="list-style-type: none"> typ statku powietrznego czas trwania procesu obsługi statku powietrznego typ czynności procesu obsługi lokalizacja procesu obsługi typ linii lotniczej | [222] |
| Dupaquis, Guivarch, Mouysset, Ruiz, Charvillat, Bouilhaguet (2026) | analiza problemu harmonogramowania dostaw żywności dla dużych operacji lotniskowych | <ul style="list-style-type: none"> liczba zadań liczba kierowców ciężarówek typ pojazdu zestaw zadań do realizacji | [223] |
| Zhou, Wu, Cao, Song, Zhang, Chen (2023) | ocena wpływu organizacji procesu obsługi naziemnej na wykorzystanie pojazdów | <ul style="list-style-type: none"> typy pojazdów obsługi naziemnej koszt przejazdu pojazdu w ramach floty czas przejazdu pojazdu w ramach floty czas trwania obsługi lotu liczba pojazdów dostępnych we flocie pojemność pojazdów | [224] |
| Wu, Zhou, Xia, Zhang, Cao, Zhang (2023) | analiza obsługi naziemnej w porcie lotniczym | <ul style="list-style-type: none"> liczba pojazdów do obsługi lotów godzina rozpoczęcia obsługi lotu odległości pokonywane przez wszystkie pojazdy pojemność pojazdów | [225] |

| | | | |
|----------------------------------|--|--|-------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • czas przejazdu pojazdów w flocie • czas trwania obsługi lotu | |
| Padrón Guimarans (2019) | ocena problemu harmonogramowania obsługi naziemnej z perspektywy globalnej | <ul style="list-style-type: none"> • chwila rozpoczęcia danej operacji obsługi • czas oczekiwania przed rozpoczęciem operacji obsługi naziemnej • chwila zakończenia obsługi naziemnej statku powietrznego • okno czasowe na wykonanie operacji • czas trwania danej operacji obsługi • najwcześniejsza i najpóźniejsza chwila rozpoczęcia czynności procesu obsługi naziemnej • typ pojazdu wykonującego czynności procesu obsługi naziemnej | [226] |
| Yao, Hu, Yin, Su, Yin (2024) | optymalizacja harmonogramowania zasobów operacyjnych portu lotniczego | <ul style="list-style-type: none"> • liczba pojazdów obsługi naziemnej • typ pojazdów obsługi naziemnej • czas trwania operacji • prędkość jazdy pojazdu obsługi naziemnej • typ statku powietrznego • chwila przylotu statku powietrznego • chwila odlotu statku powietrznego | [227] |
| Zwan, Ermiş, Sharpanskykh (2025) | planowanie tras dla autonomicznego sprzętu wsparcia naziemnego | <ul style="list-style-type: none"> • czynności obsługi naziemnej • sprzęt do obsługi naziemnej • czas realizacji obsługi naziemnej • okna czasowe dla zadań obsługi naziemnej • bazy pojazdów w porcie lotniczym | [228] |

3.2.4. MODELOWANIE PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ

W literaturze przedmiotu w zakresie modelowania identyfikuje się wykorzystanie dedykowanych programów komputerowych wspierających modelowanie procesów operacyjnych. Do analizy procesów realizowanych przez operatorów jednostek transportu pasażerskiego lotniska (PCL) wykorzystano oprogramowanie AnyLogic, które umożliwiło ocenę aktualnie stosowanej strategii konfiguracji operacji oraz wyznaczenie minimalnej liczby operatorów wymaganych do realizacji tych zadań [229]. Narzędzie AnyLogic zastosowano również do analizy wpływu obecności lotów przekierowanych na funkcjonowanie operacyjnej strefy lotniska [8] oraz wpływu strajków podmiotów obsługi naziemnej na wydajność operacyjną portu lotniczego [230]. Podejście Malandriego i in. [230] posiada ograniczenia, gdyż nie identyfikuje sytuacji braku dostępności zasobów technicznych. Oprogramowanie Any Logic wykorzystywano również do oceny możliwości skrócenia czasu postoju statków powietrznych poprzez udoskonalenie procesów obsługi naziemnej [231]. Komputerowe narzędzia symulacyjne były wykorzystywane do oceny odporności systemu obsługi naziemnej w zależności od intensywności zgłoszeń statków powietrznych [232]. Innym wykorzystywanym narzędziem jest oprogramowanie WITNESS Simulation, które zastosowano do skonfigurowania modelu procesu obsługi naziemnej statku powietrznego Airbus A320 oraz przeprowadzenia analizy jego zmienności [233].

Środowisko symulacyjne wykorzystywano również do oceny przebiegu procesu wejścia pasażerów na pokład statku powietrznego oraz prognozowania postępu boardingu [234]. Jednocześnie aspekty modelowania symulacyjnego okazują się przydatne w zakresie analizy

ruchu pojazdów naziemnych w porcie lotniczym [235]. W procesach obsługi naziemnej kluczowe jest podejmowanie odpowiednich decyzji w czasie rzeczywistym. Peng i in. [5] analizowali narzędzie symulacyjne wspierające proces podejmowania decyzji umożliwiające generowanie wymagań dotyczących realizacji zadań związanych z obsługą statków powietrznych.

Purohit i in. [1] skoncentrowali się na wykorzystaniu systemu INTACT, stanowiącego narzędzie umożliwiające zgłaszanie usterek w statku powietrznym oraz zapotrzebowania na określone elementy niezbędne do realizacji czynności obsługowych. Wyniki tej pracy wskazują, że zastosowanie takiego podejścia pozwala osiągnąć korzyści ekonomiczne. Operacje procesów obsługi naziemnej mają bezpośredni wpływ na rozkład lotów. W tym kontekście wykorzystanie symulacji zdarzeń dyskretnych (DES) pozwala na identyfikację przydziałów zasobów podatnych na opóźnienia [6]. Modele symulacji zdarzeń dyskretnych wykorzystano także do analizy zmian w całym procesie obsługi przed i po pandemii Covid 19 [236].

W literaturze do analizy procesów obsługi naziemnej stosowana jest również metoda Monte Carlo, pozwalająca na symulacyjne odwzorowanie niepewności i zmienności parametrów operacyjnych. Metoda ta znalazła zastosowanie do analizy przypadków w portach lotniczych o warunkach niskiej i wysokiej zmienności, umożliwiając ograniczenie czasu postoju statków powietrznych oraz skrócenie całkowitego czasu realizacji operacji obsługi naziemnej [237]. Metodę Monte Carlo zastosowano do wyznaczenia krytycznych ścieżek procesu postoju statku powietrznego [238]. Do modelowania procesów obsługi naziemnej wykorzystywano także model typu Markowa. Wspomniane podejście było głównym elementem w zakresie symulacji niepewności operacyjnej wynikającej z operacji postoju samolotów [239]. Narzędzia symulacyjne charakteryzują się możliwością oceny różnych konfiguracji systemu wraz z analizą odpowiednio przygotowanych scenariuszy operacyjnych. Tabela 3.14 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu modelowania procesów obsługi naziemnej, ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.14. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu modelowania procesów obsługi naziemnej.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|---|--|---|----------------------|
| Purohit, Langner, Feuerle, Hecker (2026) | optymalizacja operacji postojowych | <ul style="list-style-type: none"> • lokalizacja wózków inwalidzkich • lokalizacja wózków cateringowych • usterek w kabinie zgłaszane przez kapitana statku powietrznego | [1] |
| Zhou, Xu, Shen, Zheng, Du (2026) | sprawne zarządzanie obsługą płyt postojowych na lotniskach | <ul style="list-style-type: none"> • liczba agentów rampowych • zestaw umiejętności agentów rampowych • czas trwania czynności procesu obsługi naziemnej • termin wykonania czynności procesu obsługi naziemnej • dopuszczalny czas oczekiwania na zadanie przed rozpoczęciem usługi obsługi | [5] |
| Guardo-Martinez, Onggo, Kunc, Tomasellam, Padron (2025) | ocena niezawodności rozkładów lotów | <ul style="list-style-type: none"> • planowe godziny przylotów i odlotów statku powietrznego • liczba przydzielonych zasobów do obsługi statku powietrznego | [6] |

| | | | |
|--|--|--|-------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • liczba dostępnych stanowisk postojowych • czas czynności procesu obsługi naziemnej • całkowity czas procesu obsługi naziemnej | |
| Malandri, Mantecchini, Paganelli, Nadia Postorino (2020) | ocena wpływu funkcjonowania strefy operacyjnej lotniska w kontekście obecności przekierowanych lotów | <ul style="list-style-type: none"> • czynności procesu obsługi naziemnej • czas trwania czynności procesów obsługi naziemnej • całkowity czas procesu obsługi naziemnej | [8] |
| Malandri, Mantecchini, Reis (2019) | ocena wpływu strajków personelu obsługi naziemnej na wydajność operacyjną | <ul style="list-style-type: none"> • liczba statków powietrznych • czynności procesu obsługi naziemnej • zasoby do procesu obsługi naziemnej • liczba operatorów procesu obsługi naziemnej • czas postoju statku powietrznego | [230] |
| Weigert, Rettmann, Alomar, Tolujew (2018) | ocena możliwości skrócenie czasu postoju samolotów | <ul style="list-style-type: none"> • czas trwania procesów obsługi statku powietrznego • odległości pokonywane na płycie postojowej • rozkład lotów • liczba bagażów na pokładzie statku powietrznego • liczba pasażerów • objętość i tonaż ładunku • poziom paliwa • liczba miejsc na pokładzie statku powietrznego • szybkość przepływu paliwa do zbiornika statku powietrznego | [231] |
| Kierzkowski, Kisiel (2017) | ocena odporności systemu obsługi naziemnej w zależności od intensywności zgłoszeń statków powietrznych | <ul style="list-style-type: none"> • liczba urządzeń do obsługi naziemnej • liczba zasobów ludzkich • czynności procesu obsługi naziemnej • prawdopodobieństwo opóźnień w obsłudze statków powietrznych | [232] |
| Bevilacqua, Ciarapica, Mazzuto, Paciarotti (2016) | ocena zmienności procesu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia • liczba zasobów ludzkich • liczba zasobów technicznych • roczny koszt zasobów • czas trwania procesów • chwila przylotu statku powietrznego | [233] |
| Schultz, Reitmann (2019) | ocena postępu wejścia na pokład statku powietrznego | <ul style="list-style-type: none"> • obciążenie miejsc na pokładzie statku powietrznego • ryzyko powstawania blokad lub kolizji • różnica między maksymalnym a minimalnym poziomem interferencji • sekwencja pasażerów – kolejność wchodzenia na pokład | [234] |

| | | | |
|---|---|---|-------|
| Alomar, Tolujevs, Medvedevs (2017) | wpływ ruchu pojazdów obsługi naziemnej na wydajność i bezpieczeństwo procesów obsługi statków powietrznych | <ul style="list-style-type: none"> układ płyty lotniska rodzaje obiektów poruszających się w obrębie płyty lotniska lokalizacja poszczególnych rodzajów obiektów poruszających się na płycie lotniska | [235] |
| Tang, Wu, Wu, Zhang (2024) | badanie wzorców rozkładu czasu trwania operacji postoju statku powietrznego | <ul style="list-style-type: none"> czas realizacji procesu obsługi statku powietrznego typ statku powietrznego | [236] |
| Guimarans, Padrón (2022) | ocena stosowanych rozwiązań wyszukiwania zasobów niezbędnych do realizacji procesu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> typ czynności procesu obsługi naziemnej typ statku powietrznego chwila rozpoczęcia i zakończenia procesu obsługi ilość materiałów potrzebnych do wykonania danej czynności najwcześniejsza i najpóźniejsza chwila rozpoczęcia czynności procesu obsługi pojemność każdej jednostki floty czas podróży między punktami czas oczekiwania zasobu na obrót | [237] |
| Antonio, Juan, Calvet, Fonseca, Casas, Guimarans (2017) | analiza ścieżek krytycznych składających się na proces restrukturyzacji obsługi naziemnej statku powietrznego | <ul style="list-style-type: none"> czynności procesu obsługi naziemnej czas trwania czynności przy uwzględnieniu różnych poziomów obłożenia (w zakresie pasażerów, bagażu i tankowania) | [238] |
| Wu, Caves (2001) | ocena niepewności operacyjnej wynikającej z operacji postoju statku powietrznego | <ul style="list-style-type: none"> opóźnienie spowodowane późnym przylotem statku powietrznego planowany czas postoju statku powietrznego na płycie lotniska funkcja prawdopodobieństwa czasu pobytu czynności procesu obsługi naziemnej zdarzenia zakłócające wpływające na punktualność odlotu | [239] |
| Christoffels, Gluchshenko (2022) | ocena wpływu zmian popytu na czas trwania procesu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> typ statku powietrznego liczba lotów przylotowych liczba lotów odlotowych czas procesu obsługi naziemnej statku powietrznego | [240] |

3.2.5. PLANOWANIE PROCESÓW OBSŁUGI NAZIEMNEJ

Planowanie procesów obsługi naziemnej w portach lotniczych to złożone zadanie, które ma wpływ na punktualność lotów, wydajność operacyjną i bezpieczeństwo. W tym kontekście przydatnym narzędziem jest metoda PERT-COST, która pozwala na identyfikację zależności między kosztami a czasem procesu obsługi [18]. Model PERT zastosowano do zarządzania operacjami postoju statków powietrznych, umożliwiając jednocześnie przekazywanie informacji z płyty lotniska do centrum operacyjnego [241].

Zastosowanie znajduje również metoda rozmytej ścieżki krytycznej, której wykorzystanie w badaniach Tzeu-Chen i in. [242] wykazało, że przeprojektowanie procesów obsługi ładunków na lotniskach może przyczynić się do zwiększenia efektywności realizacji tych operacji. W obszarze planowania obsługi naziemnej przydatnym narzędziem jest także Twierdzenie Minuty Krytycznej (CMT), które pozwala na identyfikację lokalnych zakłóceń [21].

Minimalizacja opóźnień w warunkach dynamicznego planowania procesów obsługi naziemnej stanowi istotne wyzwanie w zarządzaniu operacjami lotniskowymi. W celu wsparcia analizy tych procesów opracowano wizualny system analityczny Sequential Rule Visualization (SeRViz), który integruje macierzowe reprezentacje wizualne z metodą sekwencyjnej eksploracji reguł (Sequential Rule Mining) [243].

Planowanie procesów obsługi naziemnej obejmuje nie tylko zagadnienia związane z organizacją operacji, lecz także decyzje o charakterze taktycznym. W tym obszarze w literaturze wykorzystywane są metody wspomagające proces podejmowania decyzji, w tym BPR (Business Process Reengineering) [244]. Evlet i in. [245] zaproponowali podejście oparte na modelowaniu propagacji opóźnień w sieci operacyjnej, które stanowi narzędzie taktycznego wsparcia decyzyjnego w procesie odzyskiwania zakłóconego rozkładu lotów.

Proces obsługi naziemnej stanowi złożony proces operacyjny, który podlega ciągłym zmianom organizacyjnym i operacyjnym. Co więcej, wymaga on uwzględnienia wielu ograniczonych zasobów. Z tego względu analiza i ocena tych procesów opiera się na zastosowaniu metod wieloagentowego planowania i koordynacji zasobów, w tym zdecentralizowanego mechanizmu przydzielania zadań Temporal Sequential Single Item (TeSSI) [246]. Oprócz zapewnienia terminowości operacji istotnym aspektem jest także ich efektywne planowanie z perspektywy ekonomicznej. W tym celu wykorzystywano algorytm bazujący na adaptacyjnym przeszukiwaniu dużego sąsiedztwa [247], matematyczny model optymalizacyjny problemu harmonogramowania projektów z ograniczeniami zasobów (RCPS) [248] i zintegrowany wielokryterialny algorytm optymalizacyjny uwzględniający koncepcję aktywnego trasowania [249].

W procesie planowania istotna jest także identyfikacja zakłóceń. W tym celu przeanalizowano przyczyny zakłóceń w procesie obsługi bagażu z wykorzystaniem metody FRAM [250]. Zastosowanie tego podejścia umożliwiło identyfikację czynników wpływających na terminowość realizowanych operacji oraz wskazanie potencjalnych źródeł zakłóceń. Ocena ryzyka jest realizowana poprzez zastosowanie metody STAMP [251]. Tabela 3.15 przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu planowania procesów obsługi naziemnej, ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.15. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu planowania procesów obsługi naziemnej.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|---|--|--|----------------------|
| Kierzkowski, Ryczyński, Kisiel, Mardeusz, Prentkovskis (2025) | modelowanie zrównoważonego rozwoju procesu obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • czas procesu obsługi • koszt procesu obsługi • lokalizacja stanowiska postojowego • objętość uzupełniania paliwa • pora procesu obsługowego • liczba zespołów obsługi naziemnej | [18] |
| Tuduriu Milici Paval (2025) | zmniejszenie propagowanych opóźnień | <ul style="list-style-type: none"> • czas procesu obsługi • czas wykonania operacji procesu obsługi • opóźnienie procesu | [21] |

| | | | |
|--|--|---|-------|
| Abd Allah Makhloof, Elsayed Waheed, El-Raouf Badawi (2015) | ocena i poprawa efektywności procedur operacyjnych linii lotniczych | <ul style="list-style-type: none"> • czynności procesu obsługi naziemnej • czas trwania czynności procesu obsługi naziemnej • chwila zakończenia operacji obsługi naziemnej • wydajność prac konserwacyjnych wykonanych na czas | [241] |
| Han, Chung, Liang (2006) | określenie krytycznych procesów operacyjnych naziemnych na lotnisku | <ul style="list-style-type: none"> • czynności procesu obsługi ładunków • czas trwania czynności | [242] |
| Jalilvand, Milhomem, Paulovich (2023) | opracowanie systemu analizy wizualnej umożliwiającego identyfikację wzorców sekwencyjnych w dziennikach operacji obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • czas rozpoczęcia i zakończenia operacji • metadane lotu, w tym typ lotu (przyłot lub odlot), linia lotnicza, źródło/miejsce docelowe, planowany i rzeczywisty czas przylotu/odlotu oraz wyznaczone stanowisko postojowe • szczegółowe informacje pogodowe | [243] |
| Bevilacqua, Ciarapica, Mazzuto, Paciarotti (2013) | ocena zmian procesów obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • czynności procesu obsługi naziemnej • typ pojazdów procesu obsługi naziemnej • czas realizacji procesów obsługi naziemnej • koszt zasobów | [244] |
| Evler, Lindner, Fricke, Schultz (2022) | ocena kosztów opóźnień dla poszczególnych lotów | <ul style="list-style-type: none"> • liczba lotów do obsłużenia • czynności procesu obsługi naziemnej • koszty obsługi statku powietrznego • czas trwania czynności procesu obsługi naziemnej • czas rozpoczęcia procesu obsługi naziemnej • poziom opóźnienia | [245] |
| Chen, Ermis Sharpanskykh (2023) | system automatyzacji operacji obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • typ czynności procesu obsługi naziemnej • infrastruktura stanowisk postojowych • czas trwania czynności i okna czasowe | [246] |
| Bao, Zhou, Kang, Chen (2025) | opracowanie modelu wspólnego planowania usług naziemnych uwzględniającego minimalizację kosztów oraz czasu opóźnień operacyjnych | <ul style="list-style-type: none"> • trasa przejazdu pojazdu obsługi naziemnej • czasy przyjazdu i wyjazdu pojazdu z punktów obsługi naziemnej • poziom energii pojazdu • czas ładowania pojazdu • czas realizacji obsługi naziemnej • opóźnienia operacji lotniczych | [247] |
| Evler, Asadi, Preis, Fricke (2021) | minimalizacja całkowitego kosztu związanego z opóźnieniem lotu | <ul style="list-style-type: none"> • liczba statków powietrznych • czynności procesu obsługi naziemnej • koszty przydzielania zasobów • koszt opóźnienia • liczba dostępnych zasobów | [248] |

| | | | |
|--|---|--|-------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • czas trwania procesu obsługi naziemnej • czas transferu między stanowiskami | |
| Weiszer, Chen, Locatelli (2015) | optymalizacja wydajności operacji naziemnych na lotniskach w kontekście zmniejszania zużycia paliwa | <ul style="list-style-type: none"> • czas podróży autobusem między miejscem początkowym a miejscem docelowym • liczba podróży autobusem • koszt podróży autobusem • chwila lądowania statku powietrznego • chwila przybycia na stanowisko postojowe • całkowita ilość paliwa zużytego podczas ruchu naziemnego | [249] |
| Kwasiborska, Kądzioła (2023) | analiza ryzyka procesu bagażowego | <ul style="list-style-type: none"> • czasy procesu obsługi • czynności związane z obsługą bagażu | [250] |
| Liptáková, Kolesár, Jenčová, Begera (2018) | ocena zagrożeń bezpieczeństwa na płytach postojowych | <ul style="list-style-type: none"> • prawdopodobieństwo zagrożenia • stopień zagrożenia | [251] |

3.2.6. CZYNNIK LUDZKI W PROCESIE OBSŁUGI NAZIEMNEJ

Poza obiektami technicznymi czynnik ludzki odgrywa kluczową rolę w procesach obsługi naziemnej. Muecklich i in. [252] przeanalizowali 87 raportów o wypadkach lotniczych, z uwzględnieniem czynników wpływających na działalność obsługi naziemnej. Przeprowadzona analiza oparta na klasyfikacji czynników ludzkich (HFACS) wykazała, iż głównymi czynnikami błędu ludzkiego w wypadkach i incydentach związanych z operacjami naziemnymi są: brak komunikacji, brak zasobów oraz brak świadomości. Personel obsługi naziemnej jest jednym z najważniejszych czynników ryzyka dla operacji na płycie postojowej [13].

W literaturze zaproponowano model taksonomiczny czynników ryzyka ludzkiego w organizacjach zajmujących się obsługą techniczną statków powietrznych. Model ten został uzupełniony o jakościową, trójwymiarową ocenę ryzyka, uwzględniającą prawdopodobieństwo wystąpienia błędu, wagę ryzyka oraz współzależności między poszczególnymi zagrożeniami [253].

W analizie czynnika ludzkiego istotną rolę odgrywają także indywidualne uwarunkowania operatorów. Wyniki badań symulacyjnych wskazują, że metoda hierarchicznego systemu wnioskowania rozmytego umożliwia projektowanie spersonalizowanych programów szkoleniowych na podstawie oceny wybranych cech kandydatów [254]. Niewłaściwy dobór operatora zwiększa ryzyko wystąpienia wypadku, dlatego istotne jest uwzględnienie minimalnego wymaganego poziomu przeszkolenia operatora. Problem ten analizowano z wykorzystaniem rozmytego systemu wnioskowania [255]. Czynnikiem ludzki był także elementem oceny kultury bezpieczeństwa obsługi naziemnej. W pracy Musa i Isha [256], wykorzystując wieloaspektowy model oceny oparty na analizie ilościowej i jakościowej, wykazali, że szkolenia oraz kompetencje stanowią jedne z kluczowych elementów kultury bezpieczeństwa. Z kolei niezawodność operatorów obsługi naziemnej podczas procesu wypychania samolotu została oceniona przy użyciu metody systematycznej redukcji błędów ludzkich i przewidywania (SHERPA). Tabela 3.16

przedstawia podsumowanie przeglądu literatury z zakresu czynnika ludzkiego w procesie oceny obsługi naziemnej, ze wskazaniem przykładowych czynników poddawanych analizie.

Tabela 3.16. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu oceny czynnika ludzkiego w procesie obsługi naziemnej.

| Autor/autorzy (rok) | Cel | Czynniki/wskaźniki | Pozycja literaturowa |
|--|--|---|----------------------|
| Musha, Isha (2021) | ocena kultury bezpieczeństwa obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • polityka i cele bezpieczeństwa • zaangażowanie organizacji • komunikacja • raportowanie • szkolenia i kompetencje • środowisko pracy • presja na ukończenie pracy • intensywność zmęczenia pracownika | [256] |
| Skorupski, Grabarek, Kwasiborska, Czyżo (2020) | ocena predyspozycji do pracy na stanowisku operatora obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • odporność na zakłócenia • odporność na stres • pamięć • odpowiedzialność • umiejętność pracy pod presją czasu • doświadczenie • postrzeganie • czas reakcji • szybkość i dokładność działania • koncentracja • czujność | [254] |
| Czikha, Skorupski (2022) | ocena minimalnego poziomu przeszkolenia operatora obsługi naziemnej | <ul style="list-style-type: none"> • poziom szkolenia operatorów • warunki środowiskowe w jakich odbywa się proces obsługi naziemnej • stopień ciężkości konsekwencji | [255] |
| Kucuk Yilmaz (2019) | ocena i priorytetyzacja mapowania ryzyka ergonomicznego | <ul style="list-style-type: none"> • czynniki wpływające na błędy operatorów • prawdopodobieństwo zdarzenia niepożądanego • wagi ryzyka • współczynnik powiązań między ryzykami | [253] |

3.3. PODSUMOWANIE PRZEGLĄDU LITERATURY

Do oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych wykorzystuje się różne metody i podejścia. Zróżnicowanie stosowanych metod i podejść w ocenie systemów pozwala na ich analizę w sposób indywidualny, czyli dostosowany do konkretnych typów systemów, ich charakterystyk i zależności między ich elementami. Kluczowym elementem oceny systemów obiektów technicznych są aspekty związane z niezawodnością. Zastosowanie miar i wskaźników niezawodności ma istotne znaczenie w ocenie trwałości, bezpieczeństwa i gotowości operacyjnej. Integracja miar niezawodnościowych z czynnikiem ludzkim oraz gotowością systemu wspiera analizę systemów antropotechnicznych [257]. Wykorzystanie modeli Markowa wspomaga podejmowanie decyzji w zakresie procesów eksploatacji obiektów technicznych [258,259]. Z kolei podejście systemowe wspiera proces projektowania, prognozowania i podejmowania decyzji dotyczących eksploatacji. W procesie oceny wykorzystuje się zarówno metody ilościowe, jak i jakościowe. Zastosowanie znajdują również zbiory rozmyte, które umożliwiają wielokryterialną analizę

stanu technicznego. W ocenie systemów istotne jest uwzględnienie szeregu czynników umożliwiających ich wielokryterialną ocenę. Tabela 3.1 – Tabela 3.10 przedstawiają zbiór czynników, miar i wskaźników, które zostały uporządkowane w pięć odrębnych podgrup:

- T – czynnik techniczny – dotyczący parametrów technicznych obiektów i ich miar niezawodnościowych,
- O – czynnik operacyjny – dotyczący funkcjonowania systemów w warunkach eksploatacyjnych,
- P – czynnik prawny – dotyczący regulacji prawnych, norm oraz obowiązujących przepisów,
- L – czynnik ludzki – dotyczący człowieka w procesie obsługi i użytkowania systemu,
- Ś – czynnik środowiskowy – dotyczący warunków zewnętrznych otoczenia systemu,
- E – czynnik ekonomiczny – dotyczący kosztów funkcjonowania, utrzymania i eksploatacji systemu.

Rysunek 3.1. przedstawia graficzną reprezentację elementów analizowanych w literaturze.

| T - techniczny | E - ekonomiczny | O - operacyjny | L - ludzki | Ś - środowiskowy |
|---|---|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> •miary niezawodności •stan obiektu •konserwacja •wydajność •efektywność •infrastruktura •wady •awarie •degradacja | <ul style="list-style-type: none"> •koszt •zysk | <ul style="list-style-type: none"> •rozmieszczenie obiektów •sposób obsługi systemu •czas trwania czynności •stopień realizacji zadań •zdolność adaptacyjna i operacyjna •zasoby •czynniki gospodarcze •efektywność •wymagania | <ul style="list-style-type: none"> • błędy • wiedza | <ul style="list-style-type: none"> •warunki atmosferyczne •emisja zanieczyszczeń •poziom hałasu |

Rysunek 3.1. Zestawienie wskaźników analizowanych w literaturze w zakresie oceny eksploatacji obiektów technicznych.

W zakresie czynników technicznych w literaturze analizowano elementy dotyczące niezawodności oraz parametrów technicznych systemu i jego obiektów. Obejmowały one przede wszystkim: miary niezawodności, stany techniczne obiektu, procesy degradacji, a także wady, awarie i uszkodzenia. W aspekcie technicznym uwzględniano także strategie konserwacji, efektywność i wydajność systemów oraz elementy infrastrukturalne. Czynniki ekonomiczne analizowano głównie ze względu na koszty oraz zysk. Natomiast do grupy parametrów operacyjnych sklasyfikowano sposób rozmieszczenia obiektów w systemie, czynności związane z nim, np. tankowanie, uzupełnianie oraz czas. Czynniki operacyjne są związane z zadaniami, tj. stopniem ich realizacji. Funkcjonowanie systemu z punktu operacyjnego zależy także od wydajności oraz zdolności adaptacyjnej systemu do zmian

i reagowania na zagrożenia i zdarzenia niepożądane. Czynności w systemie nie mogą być realizowane bez odpowiednich zasobów, w związku z tym czynniki operacyjne obejmują także wymagania systemowe. W zakresie parametrów środowiskowych uwzględniano warunki atmosferyczne (widoczność), emisje hałasu oraz poziom zanieczyszczeń. Czynniki ludzki związany jest bezpośrednio z operatorami realizującymi w systemie określone zadania i funkcje. W literaturze analizowano ich błędy oraz wiedzę. Bezpieczeństwo, które również było analizowane jako miara oceny systemu, nie zostało zaklasyfikowane do żadnej z kategorii, gdyż jest efektem oddziaływania czynników technicznych, ekonomicznych, operacyjnych, środowiskowych, ludzkich i prawnych. W literaturze istnieje niewiele prac integrujących wszystkie wskazane czynniki.

Podobne spostrzeżenia odnotowano również w obszarze oceny procesów obsługi naziemnej. Pomimo zastosowania różnych podejść i metod, opracowanie jednej, systematycznej metody oceny pozostaje utrudnione. Brak holistycznego podejścia do modelowania systemów, w tym systemów obsługi naziemnej, sprawia, że każda strefa płyt postojowych charakteryzuje się indywidualnymi uwarunkowaniami [260]. Dodatkowo operacje lotniskowe stają się coraz bardziej złożone [261]. Ze względu na konieczność zapewnienia odpowiedniej jakości, szybkości realizacji obsługi oraz efektywności kosztowej, niezbędne jest odpowiednie zarządzanie procesami obsługi naziemnej.

Pomimo licznych badań w zakresie procesów obsługi naziemnej statków powietrznych, w literaturze brak jest kompleksowego modelu oceny tych procesów. Identyfikuje się zatem lukę teoretyczną integrującą zarówno aspekty techniczne, w tym miary niezawodności urządzeń, jak i czynniki ludzkie. Taka luka wskazuje na potrzebę interdyscyplinarnego podejścia umożliwiającego kompleksową analizę i ocenę operacji naziemnych. Dotychczasowe podejścia koncentrowały się najczęściej na wybranych elementach – takich jak harmonogramowanie pojazdów obsługi naziemnej, alokacja zasobów, reagowanie na opóźnienia, minimalizowanie kosztów i analiza przepływu pasażerów. Brak integracji tych wymiarów ogranicza dokonanie pełnej oceny procesów, zwłaszcza w zmieniających się warunkach operacyjnych oraz przy różnorodności operacji.

Dotychczas prezentowane podejścia skupiały się głównie na optymalizacji procesów obsługi naziemnej. Jednak zmienność warunków, w których jest on realizowany, powoduje, że poza czasem operacji istotna jest także weryfikacja dostępności zasobów. Z tego względu podejście prezentowane w pracy zakłada integrację działalności operacyjnej z niezawodnością obiektów technicznych i niezbędnym do ich obsługi personelem.

4. CEL I ZAKRES PRACY

Dokonany przegląd literatury wskazuje kierunki rozwoju badań w obszarze oceny systemów eksploatacji. Liczne prace skupiają się na aspektach związanych z procesami obsługi naziemnej. Specyfika procesów obsługi naziemnej związana jest z wysokim poziomem niepewności i zmienności. Szczególną uwagę w tym obszarze zwraca także problematyka opóźnień. Opóźnienia rotacyjne wynikają z zakłóceń w kolejnych etapach realizacji zadania transportowego statku powietrznego. Proces obsługi naziemnej stanowi zatem złożony element systemu eksploatacji statku powietrznego. Kluczową rolę w tym procesie odgrywają czynniki techniczne. Odpowiadają one za przebieg i efektywność realizowanych operacji obsługowych. Charakter procesu obsługi naziemnej wymaga dostosowania do określonej specyfiki danego typu statku powietrznego. Wynika to z różnic konstrukcyjnych, technologicznych i operacyjnych. W konsekwencji konieczne jest uwzględnienie zróżnicowanych wymagań dotyczących organizacji procesu obsługi naziemnej. Dotyczy to czasu realizacji poszczególnych procesów obsługowych

i wykorzystania infrastruktury i urządzeń obsługi naziemnej. Złożoność tych uwarunkowań wpływa również na poziom niezawodności i terminowości operacji lotniczych.

Proces obsługi naziemnej statku powietrznego odbywa się zgodnie z ustaleniami pomiędzy przewoźnikiem lotniczym a agentem obsługi naziemnej w porcie lotniczym. Podmiotem odpowiedzialnym za określenie harmonogramu obsługi statków powietrznych jest linia lotnicza [219]. Producent statku powietrznego dostarcza wytyczne dotyczące harmonogramu realizacji poszczególnych czynności obsługowych. Pomimo licznych badań w zakresie oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych nadal brakuje prac integrujących działalność taktyczną i operacyjną portów lotniczych.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej jest opracowanie modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym z uwzględnieniem oceny operacyjnej i taktycznej. Osiągnięcie założonego celu badawczego wymaga realizacji następujących działań:

- analizy metod i narzędzi umożliwiających ocenę systemów eksploatacji obiektów technicznych,
- analizy metod i narzędzi umożliwiających ocenę procesów obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym,
- identyfikacji czynników wpływających na działalność operacyjną procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym,
- identyfikacji czynników wpływających na działalność taktyczną procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym,
- opracowanie modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

Opracowany przegląd literatury wskazuje, że metodą, która znajduje zastosowanie w ocenie systemów eksploatacji i procesów obsługi naziemnej jest logika rozmyta [118–120,124,262]. Wynika to przede wszystkim z charakteru procesów obsługi naziemnej. Charakteryzują się one wysokim poziomem niepewności. Niepewność jest skutkiem występowania zakłóceń takich jak opóźnienia w rozkładzie lotów, braki personelu, uszkodzenia obiektów technicznych, które wpływają na przebieg i organizację obsługi naziemnej.

Potrzeba opracowania rozwiązania pozwalającego na ocenę procesów obsługi naziemnej potwierdzona jest w literaturze [18,22,208]. Prognozy Międzynarodowego Zrzeszenia Przewoźników Powietrznych wskazują, że do 2037 roku liczba pasażerów osiągnie poziom 8.2 miliarda [263]. Skutkiem tego jest rosnąca liczba operacji lotniczych, w tym operacji obsługi naziemnej.

Realizacja celu rozprawy doktorskiej, jakim jest opracowanie modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym, znajduje odzwierciedlenie w strukturze pracy.

Rozdział pierwszy przedstawia informacje dotyczące procesu obsługi naziemnej, w tym jego definicję i istotę. Wskazana charakterystyka procesów podkreśla ich zróżnicowanie wynikające ze specyfiki realizowanych operacji, stosowanego sprzętu i kwalifikacji operatorów. Istotnym aspektem jest dostosowanie się do wytycznych międzynarodowych i krajowych.

Rozdział drugi dotyczy systemowego ujęcia procesów obsługi naziemnej. Procesy obsługi naziemnej wzajemnie na siebie oddziałują. Każdy statek powietrzny ma określony harmonogram wykonywania poszczególnych czynności. Istotne są również relacje zachodzące pomiędzy poszczególnymi obiektami i elementami procesu obsługi naziemnej.

Rozdział trzeci przedstawia analizę dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie oceny eksploatacji systemów technicznych i procesów obsługi naziemnej. Podrozdział dotyczący przeglądu badań w zakresie oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych (3.1) identyfikuje dotychczas wykorzystywane narzędzia, w tym: modele markowa, zbiory rozmyte, AHP, podejście algorytmiczne, modelowanie, ocenę cyklu życia i analizę zagadnień związanych z odpornością. Podrozdział poświęcony badaniom w zakresie procesów obsługi naziemnej (3.2) wskazuje kluczowe kierunki badawcze w tym obszarze, obejmujące zagadnienia dotyczące projektowania, wydajności, problemów trasowania i harmonogramowania, modelowania, planowania oraz wpływu czynnika ludzkiego.

Rozdział piąty prezentuje model oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych z uwzględnieniem działalności operacyjnej i taktycznej portu lotniczego.

Rozdział szósty prezentuje weryfikację opracowanego rozwiązania.

Rozdział siódmy dotyczy aplikacji prezentowanego podejścia.

Rozdział ósmy stanowi podsumowanie pracy wraz z wnioskami.

5. MODEL OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZYM

W analizie procesów obsługi naziemnej w porcie lotniczym istotny element stanowi zjawisko opóźnień. Opóźnienia w systemie transportu lotniczego oznaczają różnicę pomiędzy planowanym a rzeczywistym odlotem lub przylotem statku powietrznego. Klasyfikacja opóźnień w lotnictwie opiera się na Standardzie IATA Delay Codes (AHM730). Jedną z kategorii kodów opóźnień jest obsługa statku powietrznego i płyty postojowej, w której zawarte są między innymi kody dotyczące [264]: załadunku i rozładunku, sprzętu załadunkowego, sprzętu serwisowego, czyszczenia statku powietrznego, tankowania, obsługi cateringowej, braku personelu i obiektów technicznych. Brak zachowania terminowości realizacji procesów obsługi naziemnej powoduje straty finansowe i stanowi obciążenie przepustowości portu lotniczego.

Przeprowadzony przegląd literatury pozwolił na identyfikację luki badawczej związanej z brakiem wystarczającej liczby narzędzi wspierających zarządzających portami lotniczymi. Z tego względu proponowane podejście uwzględnia integrację elementów działalności operacyjnej i taktycznej portu lotniczego.

Obsługa naziemna składa się ze zbioru operatorów i obiektów technicznych wraz z relacjami zachodzącymi pomiędzy ich elementami. Poszczególne elementy systemu obsługi naziemnej mają jeden wspólny cel, jakim jest przygotowanie statku powietrznego do kolejnego lotu. Zadania systemu obsługi naziemnej dotyczą czynności, które są realizowane w ramach procesów obsługi naziemnej. Zadania te obejmują podłączanie zewnętrznego źródła zasilania, deboarding, rozładunek, załadunek, boarding, tankowanie, obsługę wody i toalet, obsługę cateringu i sprzątanía, odłączanie urządzeń do zasilania statku powietrznego oraz wypychanie. Każda ze wskazanych czynności charakteryzuje się odmienną specyfiką realizacji.

Operatorzy stanowią zbiór osób niezbędnych do realizacji czynności procesów obsługi naziemnej za pomocą odpowiednich obiektów technicznych. Poszczególni operatorzy muszą posiadać odpowiednie kompetencje do realizacji operacji obsługowych i odpowiednie uprawnienia do obsługi obiektów technicznych. Operatorzy mają przypisaną rolę i odpowiedzialności w procesie obsługi. Ich poziom kompetencji i wykształcenia wpływa na sposób realizacji operacji lotniskowych.

Elementami niezbędnymi do realizacji celu obsługi naziemnej jest zbiór obiektów technicznych. Do zbioru obiektów technicznych zalicza się: agregaty prądotwórcze,

urządzenia obsługi wentylacji statku powietrznego, schody lotniskowe, rękawy lotniskowe, podnośniki taśmowe i bagażowe, zestawy transportowe (ciągnik lotniskowy z zestawem przyczepki bagażowych), cysterny, pojazdy obsługi technicznej, pojazdy obsługi wody pitnej, pojazdy obsługi toalet, pojazdy obsługi cateringu, pojazdy do wypychania statku powietrznego. Każdy z wskazanych obiektów technicznych posiada inne właściwości i pełni inną rolę w systemie obsługi naziemnej. Każdy z tych pojazdów charakteryzuje się inną specyfiką techniczną. Istotnym elementem oddziałującym na system obsługi naziemnej statku powietrznego jest czynnik otoczenia zewnętrznego, jakim jest rozkład lotów.

5.1. AKWIZYCJA DANYCH DLA MODELU OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKU POWIETRZNEGO W PORCIE LOTNICZYM

Proces akwizycji danych na potrzeby modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym obejmuje szereg działań ukierunkowanych na zgromadzenie niezbędnych danych wejściowych. Akwizycja danych koncentruje się w głównej mierze na gromadzeniu danych ilościowych oraz analizie instrukcji operacyjnych dla określonego typu statku powietrznego.

5.1.1. AKWIZYCJA DANYCH DLA MODELU OCENY OPERACYJNEJ PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH

Akwizycja danych dla modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej określonego typu statku powietrznego w porcie lotniczym obejmuje identyfikację:

- czynności, dla których instrukcja operacyjna statku powietrznego określa przewidywany czas ich trwania,
- czynności, dla których instrukcja operacyjna statku powietrznego nie zawiera informacji o czasie trwania,
- harmonogramu obsługi statku powietrznego z instrukcji operacyjnej zawierającą informację o przewidywanym czasie trwania czynności w ramach obsługi naziemnej,
- chwili rozpoczęcia realizacji podłączania urządzeń obsługi naziemnej,
- chwili zakończenia realizacji podłączania urządzeń obsługi naziemnej,
- chwili rozpoczęcia realizacji odłączania urządzeń obsługi naziemnej,
- chwili zakończenia realizacji odłączania urządzeń obsługi naziemnej,
- chwili rozpoczęcia realizacji wypychania statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji wypychania statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji obsługi wody statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji obsługi wody statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji obsługi toalet statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji obsługi toalet statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji obsługi cateringu statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji obsługi cateringu statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji sprzątnięcia statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji sprzątnięcia statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji załadunku statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji załadunku statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji rozładunku statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji rozładunku statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji boardingu statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji boardingu statku powietrznego,

- chwili rozpoczęcia realizacji deboardingu statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji deboardingu statku powietrznego,
- chwili rozpoczęcia realizacji tankowania statku powietrznego,
- chwili zakończenia realizacji tankowania statku powietrznego,
- chwili, w której statek powietrzny zaparkował na stanowisku postojowym,
- harmonogramu obsługi naziemnej ustalonego przez port lotniczy,
- planowanego rozkładu lotów statku powietrznego.

Identyfikacja czynności, dla których instrukcja operacyjna statku powietrznego określa przewidywany czas ich trwania, oraz identyfikacja czynności, dla których instrukcja operacyjna statku powietrznego nie zawiera informacji o czasie trwania, wpływają na wybór modelu oceny i -tej czynności obsługi.

Dla czynności, dla których instrukcja operacyjna nie zawiera danych dotyczących przewidywanego czasu trwania obsługi, wymaga się przeprowadzenia procesu wnioskowania statystycznego. Głównym celem tego etapu jest identyfikacja wartości odstających. Identyfikacja wartości odstających polega na wyznaczeniu wartości kwartyła pierwszego (Q_1) oraz trzeciego (Q_3) i wyznaczeniu rozstępu kwartylowego (QR). Dane wykorzystywane do analizy powinny obejmować co najmniej 30 obserwacji ($n \geq 30$).

Wskazane wartości są niezbędne do wyznaczenia następujących parametrów oceny: odchylenia od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności ($ONCR^i$), czasu trwania czynności (T^i), wskaźnika czasu trwania czynności (WT^i), terminowości zatrzymania statku powietrznego (ZSP^i). Zebrane dane należy zweryfikować, aby zapewnić ich kompletność i poprawność oraz uniknąć braków i błędów.

5.1.2. AKWIZYCJA DANYCH DLA MODELU OCENY TAKTYCZNEJ PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH

Akwizycja danych dla modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej określonego typu statku powietrznego w porcie lotniczym obejmuje identyfikację:

- liczby agregatów prądotwórczych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby agregatów prądotwórczych niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami agregatów prądotwórczych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw agregatów prądotwórczych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby urządzeń do obsługi wentylacji posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby urządzeń do obsługi wentylacji niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami urządzeń do obsługi wentylacji posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw urządzeń do obsługi wentylacji posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby schodów lotniskowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby schodów lotniskowych niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,

- średni czas między awariami schodów lotniskowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw schodów lotniskowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby podnośników taśmowych i bagażowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby podnośników taśmowych i bagażowych niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami podnośników taśmowych i bagażowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw podnośników taśmowych i bagażowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby zestawów transportowych (ciągników lotniskowych z zestawem przyczepek bagażowych) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby zestawów transportowych (ciągników lotniskowych z zestawem przyczepek bagażowych) niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami zestawów transportowych (ciągników lotniskowych z zestawem przyczepek bagażowych) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw zestawów transportowych (ciągników lotniskowych z zestawem przyczepek bagażowych) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby cystern posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby cystern niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami cystern posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw cystern posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (do sprzątania) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (do sprzątania) niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (do sprzątania) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (do sprzątania) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi wody pitnej posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi wody pitnej niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami pojazdów obsługi wody pitnej posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,

- średni czas napraw pojazdów obsługi wody pitnej posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi toalet posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi toalet niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami pojazdów obsługi toalet posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw pojazdów obsługi toalet posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi cateringu posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów obsługi cateringu niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami pojazdów obsługi cateringu posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw pojazdów obsługi cateringu posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów typu wpychacz posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby pojazdów typu wpychacz niezbędnych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- średni czas między awariami pojazdów typu wpychacz posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- średni czas napraw pojazdów typu wpychacz posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi agregatów prądotwórczych należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi agregatów prądotwórczych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi agregatów prądotwórczych posiadanych przez port lotniczy w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi urządzeń do obsługi wentylacji należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi urządzeń do obsługi wentylacji określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi wentylacji posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi schodów lotniskowych należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi schodów lotniskowych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,

- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi schodów lotniskowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi podnośników taśmowych i bagażowych należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi podnośników taśmowych i bagażowych do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi podnośników taśmowych i bagażowych posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi zestawów transportowych (ciągników lotniskowych z zestawem przyczepek bagażowych) należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi zestawów transportowych (ciągników lotniskowych z zestawem przyczepek bagażowych) do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi zestawów transportowych (ciągników lotniskowych z zestawem przyczepek bagażowych) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi cystern posiadanych przez port lotniczy należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi cystern do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi cystern posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (do sprzątania) należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi pojazdów technicznych (do sprzątania) do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (do sprzątania) posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi pojazdów obsługi wody pitnej należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi pojazdów obsługi wody pitnej do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi pojazdów obsługi wody pitnej posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,

- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi pojazdów obsługi toalet należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi pojazdów obsługi toalet do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi pojazdów obsługi toalet posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi pojazdów obsługi cateringu należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi pojazdów obsługi cateringu do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi pojazdów obsługi cateringu posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów w porcie lotniczym, którzy posiadają uprawnienia do obsługi pojazdów typu wypychacz należących do analizowanej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby operatorów niezbędnych do obsługi pojazdów typu wypychacz do obsługi określonego typu statku powietrznego w chwili t ,
- całkowitego czasu pracy i czasu dostępności operatorów do obsługi pojazdów typu wypychacz posiadanych przez port lotniczy do obsługi określonego typu statku powietrznego w trakcie danej zmiany roboczej w porcie lotniczym,
- liczby określonych typów statków powietrznych obsługiwanych w analizowanym czasie T .

Wskazane wartości są niezbędne do wyznaczenia następujących parametrów oceny: gotowość obiektów technicznych (A^{SOT}) i gotowość personelu (A^{POT}). Zebrane dane należy zweryfikować, aby zapewnić ich kompletność i poprawność oraz uniknąć braków i błędów.

5.2. PARAMETRY MODELU OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZYM

5.2.1. ODCHYLENIE OD NAJWCZEŚNIEJSZEJ MOŻLIWEJ CHWILI ROZPOCZĘCIA CZYNNOŚCI

Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i -tej czynności ($ONCR^i$) to zmienna wejściowa, która określa różnicę między rzeczywistą chwilą pojawienia się obiektów a najwcześniejszą możliwą chwilą wynikającą z harmonogramu ustalonego przez port lotniczy. Odchylenie może wynikać z czynników infrastrukturalnych (np. odległości położenia gniazd obiektów technicznych od stanowiska postojowego), organizacyjnych (np. realizacji przez obiekt techniczny innych zadań związanych z obsługą naziemną) i ludzkich (np. realizacji przez operatora innych zadań związanych z obsługą naziemną). Wartość odchylenia i -tej czynności wyznaczona jest z wzoru (15).

$$ONCR^i = t_{RCR}^i - t_{NMCR}^i \text{ [min]} \quad (15)$$

gdzie:

$ONCR^i$ – odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i -tej czynności

t_{RCR}^i – rzeczywista chwila rozpoczęcia i -tej czynności

t_{NMCR}^i – najwcześniejsza możliwa chwila rozpoczęcia i -tej czynności

Granice funkcji przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i -tej czynności procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym ($ONCR_{x_n}^i$) zdefiniowano za pomocą wzorów (16), (17), (18):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^i(x_n^{ONCR^i}; a_{x_n}^{ONCR^i}, b_{x_n}^{ONCR^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} \leq a_{x_n}^{ONCR^i} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^i} - x_n^{ONCR^i}}{b_{x_n}^{ONCR^i} - a_{x_n}^{ONCR^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^i} < x_n^{ONCR^i} \leq b_{x_n}^{ONCR^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} > b_{x_n}^{ONCR^i} \end{cases} \quad (16)$$

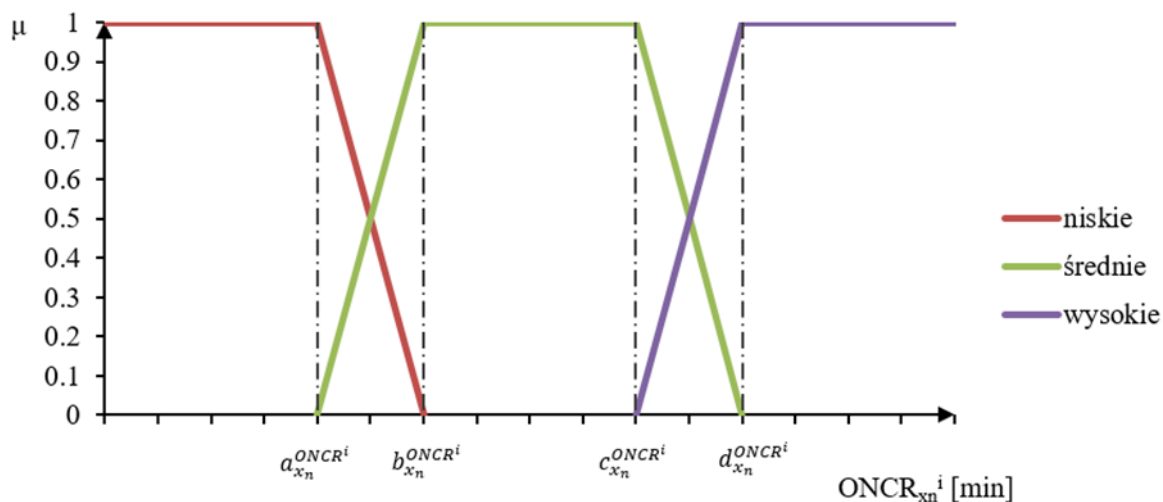
- średnie:

$$ONCR_{x_n}^i(x_n^{ONCR^i}; a_{x_n}^{ONCR^i}, b_{x_n}^{ONCR^i}, c_{x_n}^{ONCR^i}, d_{x_n}^{ONCR^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} \leq a_{x_n}^{ONCR^i} \\ \frac{x_n^{ONCR^i} - a_{x_n}^{ONCR^i}}{b_{x_n}^{ONCR^i} - a_{x_n}^{ONCR^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^i} < x_n^{ONCR^i} \leq b_{x_n}^{ONCR^i} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^i} < x_n^{ONCR^i} \leq c_{x_n}^{ONCR^i} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^i} - x_n^{ONCR^i}}{d_{x_n}^{ONCR^i} - c_{x_n}^{ONCR^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^i} < x_n^{ONCR^i} \leq d_{x_n}^{ONCR^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} > d_{x_n}^{ONCR^i} \end{cases} \quad (17)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^i(x_n^{ONCR^i}; c_{x_n}^{ONCR^i}, d_{x_n}^{ONCR^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} \leq c_{x_n}^{ONCR^i}, \\ \frac{x_n^{ONCR^i} - c_{x_n}^{ONCR^i}}{d_{x_n}^{ONCR^i} - c_{x_n}^{ONCR^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^i} < x_n^{ONCR^i} \leq d_{x_n}^{ONCR^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} > d_{x_n}^{ONCR^i} \end{cases} \quad (18)$$

Rysunek 5.1 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom.



Rysunek 5.1. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i -tej czynności.

5.2.2. CZAS TRWANIA CZYNNOŚCI

Czas trwania i -tej czynności (T^i) to zmienna wejściowa określająca długość trwania wybranych czynności procesu obsługi naziemnej. Czas trwania jest zależny od wielu elementów związanych m.in. z poziomem kompetencji operatorów obsługi naziemnej, liczebności operatorów, warunków zewnętrznych (pogoda, widoczność), rodzaju wykorzystywanych obiektów technicznych (np. wykorzystanie schodów pasażerskich lub rękawa). Wartość czasu trwania i -tej czynności wyznaczona jest z wzoru (19).

$$T^i = t_{CZ}^i - t_{CR}^i \text{ [min]} \quad (19)$$

gdzie:

T^i – czas trwania i -tej czynności

t_{RCZ}^i – rzeczywista chwila zakończenia i -tej czynności

t_{RCR}^i – rzeczywista chwila rozpoczęcia i -tej czynności

Granice funkcji przynależności dla zmiennej opisującej czas trwania i -tej czynności ($T_{x_n}^i$) zdefiniowano za pomocą wzorów (20), (21), (22):

- krótki:

$$T_{x_n}^i(x_n^{T^i}; a_{x_n}^{T^i}, b_{x_n}^{T^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^i} \leq a_{x_n}^{T^i} \\ \frac{b_{x_n}^{T^i} - x_n^{T^i}}{b_{x_n}^{T^i} - a_{x_n}^{T^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{T^i} < x_n^{T^i} \leq b_{x_n}^{T^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^i} > b_{x_n}^{T^i} \end{cases} \quad (20)$$

- średni:

$$T_{x_n}^i(x_n^{T^i}; a_{x_n}^{T^i}, b_{x_n}^{T^i}, c_{x_n}^{T^i}, d_{x_n}^{T^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{T^i} \leq a_{x_n}^{T^i} \\ \frac{x_n^{T^i} - a_{x_n}^{T^i}}{b_{x_n}^{T^i} - a_{x_n}^{T^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{T^i} < x_n^{T^i} \leq b_{x_n}^{T^i} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{T^i} < x_n^{T^i} \leq c_{x_n}^{T^i} \\ \frac{d_{x_n}^{T^i} - x_n^{T^i}}{d_{x_n}^{T^i} - c_{x_n}^{T^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{T^i} < x_n^{T^i} \leq d_{x_n}^{T^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^i} > d_{x_n}^{T^i} \end{cases} \quad (21)$$

- długi:

$$T_{x_n}^i(x_n^{T^i}; c_{x_n}^{T^i}, d_{x_n}^{T^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} \leq c_{x_n}^{T^i} \\ \frac{x_n^{T^{PUON}} - c_{x_n}^{T^i}}{d_{x_n}^{T^i} - c_{x_n}^{T^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{T^i} < x_n^{T^{PUON}} \leq d_{x_n}^{T^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} > d_{x_n}^{T^i} \end{cases} \quad (22)$$

gdzie:

$$a_{x_n}^{T^i} = \bar{x}^{T^i} - \sigma^{T^i} \quad (23)$$

$$b_{x_n}^{T^i} = \bar{x}^{T^i} - t_{0.05} \cdot \frac{\sigma^{T^i}}{\sqrt{n^{T^i}}} \quad (24)$$

$$c_{x_n}^{T^i} = \bar{x}^{T^i} + t_{0.05} \cdot \frac{\sigma^{T^i}}{\sqrt{n^{T^i}}} \quad (25)$$

$$d_{x_n}^{T^i} = \bar{x}^{T^i} + \sigma^{T^i} \quad (26)$$

gdzie:

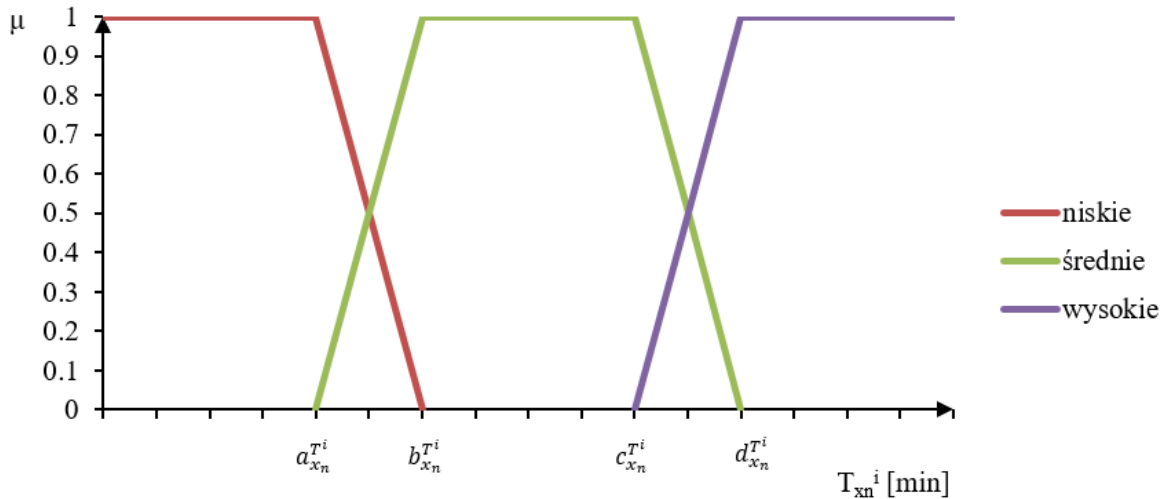
\bar{x}^{T^i} – średni czas trwania czynności

σ^{T^i} – odchylenie standardowe czasu trwania czynności

n^{T^i} – liczba obserwacji ($n \geq 30$)

$t_{0.05}$ – wartość krytyczna z rozkładu t-Studenta

Rysunek 5.2 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom.



Rysunek 5.2. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej czas trwania i –tej czynności.

5.2.3. WSKAŹNIK CZASU TRWANIA CZYNNOŚCI

Wskaźnik czasu trwania i -tej czynności (WT^i) to zmienna wejściowa określająca długość trwania procesu obsługi naziemnej w stosunku do czasu trwania przewidzianego w instrukcji operacyjnej. Dla większości czynności obsługi naziemnej tj. rozładunek (RSP), załadunek (ZaSP), deboarding (DSP), boarding (BSP), tankowanie (TSP), obsługa toalet (OTSP), obsługa wody (OWSP), obsługa cateringu (OCSP) i sprzątanie (SSP) instrukcje operacyjne statków powietrznych zawierają przewidywany czas trwania czynności. Wartość wskaźnika czasu trwania i -tej czynności wyznaczona jest z wzoru (27).

$$WT^i = \frac{T^i}{T_{max}^i} [\%] \quad (27)$$

gdzie:

WT^i – wskaźnik czasu trwania i -tej czynności

T^i – rzeczywisty czas trwania i -tej czynności

T_{max}^i – czas trwania i -tej czynności wynikający z instrukcji operacyjnej

Granice funkcji przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania i -tej czynności procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym ($WT_{x_n}^i$) zdefiniowano za pomocą wzorów (28), (29), (30):

- niski:

$$WT_{x_n}^i(x_n^{WT^i}; a_{x_n}^{WT^i}, b_{x_n}^{WT^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^i} \leq a_{x_n}^{WT^i} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^i} - x_n^{WT^i}}{b_{x_n}^{WT^i} - a_{x_n}^{WT^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^i} < x_n^{WT^i} \leq b_{x_n}^{WT^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^i} > b_{x_n}^{WT^i} \end{cases} \quad (28)$$

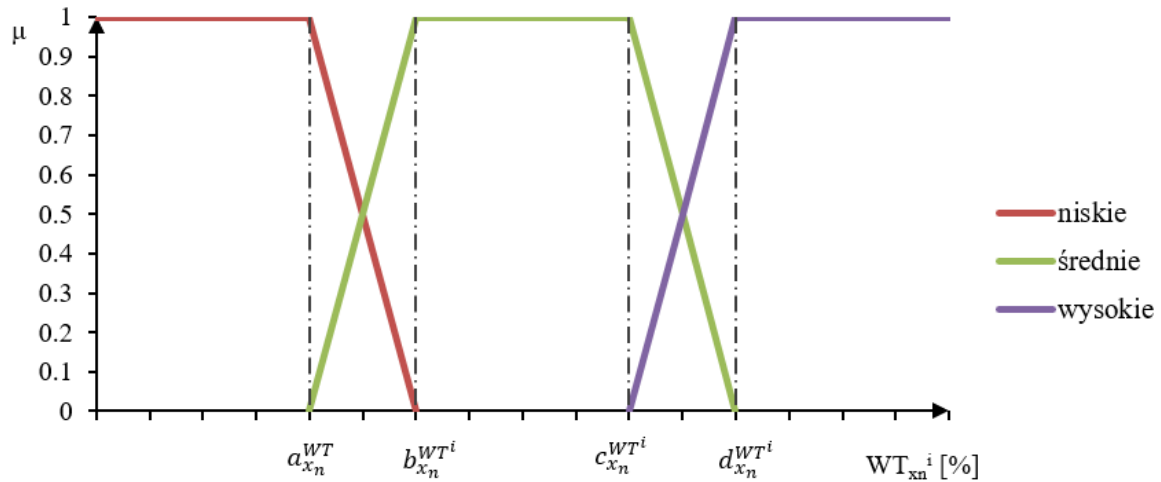
- średni:

$$WT_{x_n}^i(x_n^{WT^i}; a_{x_n}^{WT^i}, b_{x_n}^{WT^i}, c_{x_n}^{WT^i}, d_{x_n}^{WT^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OTSP}} \leq a_{x_n}^{WT^i} \\ \frac{x_n^{WT^i} - a_{x_n}^{WT^{OTSP}}}{b_{x_n}^{WT^i} - a_{x_n}^{WT^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^i} < x_n^{WT^i} \leq b_{x_n}^{WT^i} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^i} < x_n^{WT^i} \leq c_{x_n}^{WT^i} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^i} - x_n^{WT^i}}{d_{x_n}^{WT^i} - c_{x_n}^{WT^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^i} < x_n^{WT^i} \leq d_{x_n}^{WT^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^i} > d_{x_n}^{WT^i} \end{cases} \quad (29)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^i(x_n^{WT^i}; c_{x_n}^{WT^i}, d_{x_n}^{WT^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^i} \leq c_{x_n}^{WT^i} \\ \frac{x_n^{WT^i} - c_{x_n}^{WT^i}}{d_{x_n}^{WT^i} - c_{x_n}^{WT^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^i} < x_n^{WT^i} \leq d_{x_n}^{WT^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^i} > d_{x_n}^{WT^i} \end{cases} \quad (30)$$

Rysunek 5.3 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom.



Rysunek 5.3. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej wskaźnik czasu trwania i -tej czynności.

5.2.4. TERMINOWOŚĆ ZATRZYMANIA STATKU POWIETRZNEGO

Terminowość zatrzymania statku powietrznego (ZSP^i) to zmienna wejściowa określająca poziom odchylenia rzeczywistej chwili zatrzymania statku powietrznego względem chwili jego zatrzymania wynikającej z harmonogramu. Odchylenie może wynikać z czynników infrastrukturalnych (np. brak stanowisk postojowych do realizacji procesów obsługi naziemnej), organizacyjnych (np. opóźnienia) i zewnętrznych (np. warunki pogodowe). Wartość terminowości zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu wyznaczona jest z wzoru (31).

$$ZSP^i = t_{RZ}^i - t_{PZ}^i \text{ [min]} \quad (31)$$

gdzie:

ZSP^i – odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu
 t_{RZ}^i – rzeczywista chwila zatrzymania statku powietrznego na stanowisku postojowym
 t_{PZ}^i – planowana chwila zatrzymania statku powietrznego na stanowisku postojowym

Granice funkcji przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^i$) zdefiniowano za pomocą wzorów (32), (33), (34):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^i(x_n^{ZSP^i}; a_{x_n}^{ZSP^i}, b_{x_n}^{ZSP^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} \leq a_{x_n}^{ZSP^i} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^i} - x_n^{ZSP^i}}{b_{x_n}^{ZSP^i} - a_{x_n}^{ZSP^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^i} < x_n^{ZSP^i} \leq b_{x_n}^{ZSP^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} > b_{x_n}^{ZSP^i} \end{cases} \quad (32)$$

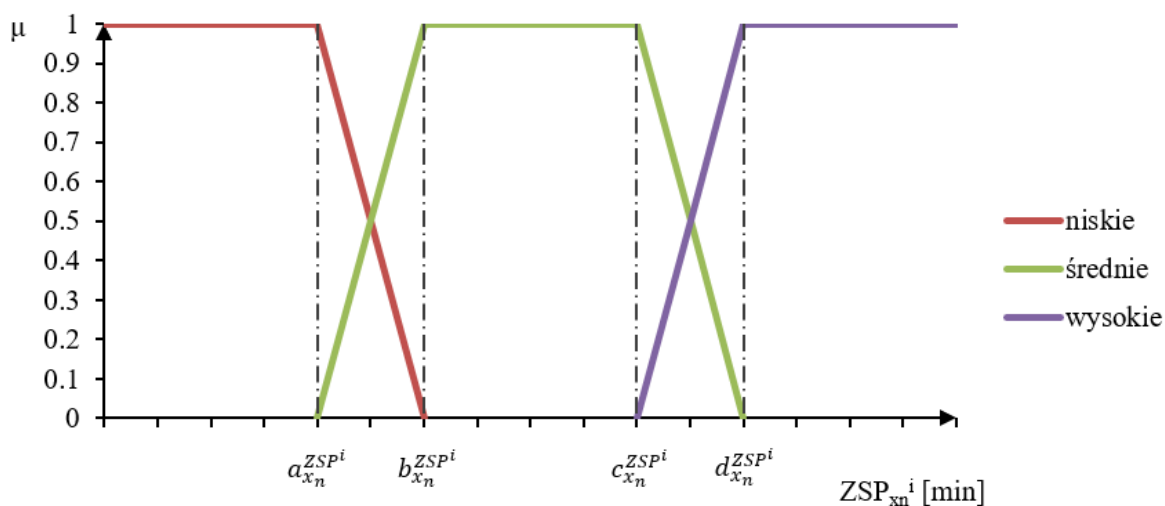
- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^i(x_n^{ZSP^i}; a_{x_n}^{ZSP^i}, b_{x_n}^{ZSP^i}, c_{x_n}^{ZSP^i}, d_{x_n}^{ZSP^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} \leq a_{x_n}^{ZSP^i} \\ \frac{x_n^{ZSP^i} - a_{x_n}^{ZSP^i}}{b_{x_n}^{ZSP^i} - a_{x_n}^{ZSP^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^i} < x_n^{ZSP^i} \leq b_{x_n}^{ZSP^i} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^i} < x_n^{ZSP^i} \leq c_{x_n}^{ZSP^i} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^i} - x_n^{ZSP^i}}{d_{x_n}^{ZSP^i} - c_{x_n}^{ZSP^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^i} < x_n^{ZSP^i} \leq d_{x_n}^{ZSP^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} > d_{x_n}^{ZSP^i} \end{cases} \quad (33)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^i(x_n^{ZSP^i}; c_{x_n}^{ZSP^i}, d_{x_n}^{ZSP^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} \leq c_{x_n}^{ZSP^i} \\ \frac{x_n^{ZSP^i} - c_{x_n}^{ZSP^i}}{d_{x_n}^{ZSP^i} - c_{x_n}^{ZSP^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^i} < x_n^{ZSP^i} \leq d_{x_n}^{ZSP^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} > d_{x_n}^{ZSP^i} \end{cases} \quad (34)$$

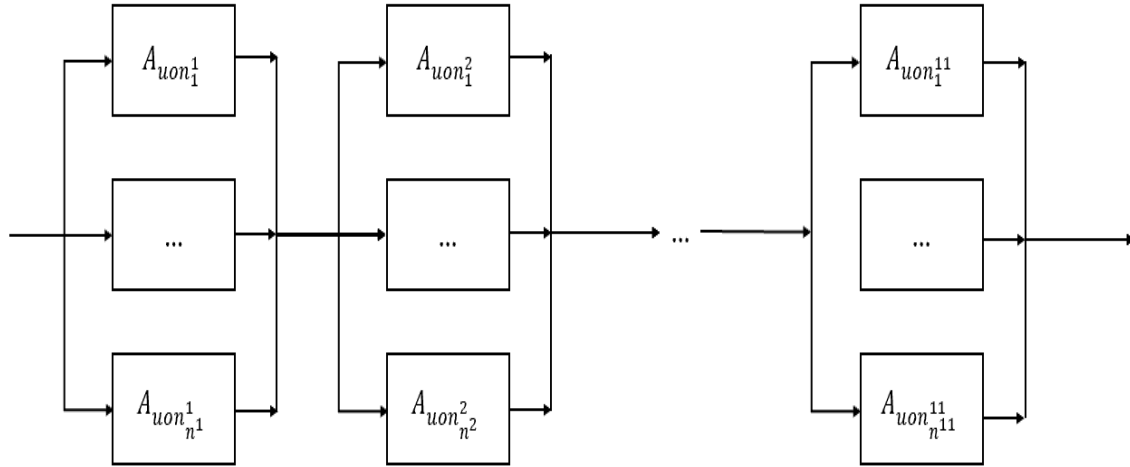
Rysunek 5.4 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom.



Rysunek 5.4. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej terminowość zatrzymania statku powietrznego i -tej czynności.

5.2.5. GOTOWOŚĆ

W modelu gotowość rozpatrywana jest w dwóch aspektach: gotowości obiektów technicznych (A^{SOT}) i gotowości personelu (A^{POT}). Rysunek 5.5 przedstawia strukturę gotowości obiektów technicznych do obsługi statku powietrznego.



Rysunek 5.5. Struktura gotowości obiektów technicznych obsługi naziemnej.

Port lotniczy posiada zbiór urządzeń obsługi naziemnej UON (35).

$$UON = \{UON_I; I = 1, \dots, 11\} \quad (35)$$

gdzie:

UON_1 – zbiór agregatów prądowórczych

UON_2 – zbiór urządzeń obsługi wentylacji statku powietrznego

UON_3 – zbiór schodów lotniskowych

UON_4 – zbiór podnośników taśmowych, bagażowych

UON_5 – zbiór zestawów transportowych (ciągnik lotniskowy z zestawem przyczepek bagażowych)

UON_6 – zbiór cystern

UON_7 – zbiór pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (sprzątanie)

UON_8 – zbiór pojazdów obsługi wody pitnej

UON_9 – zbiór pojazdów obsługi toalet

UON_{10} – zbiór pojazdów obsługi cateringu

UON_{11} – zbiór pojazdów typu wypychacz statku powietrznego

Zbiór UON zawiera 11 typów ($UON_I \subseteq UON$) urządzeń służących do wykonywania innych czynności w procesie obsługi naziemnej. Każdy z podzbiorów UON_I zawiera wszystkie urządzenia uon_i^I posiadane przez port lotniczy, które dedykowane są do wykonywania danej grupy czynności (36).

$$UON_I = \{uon_i^I; i = 1, \dots, n^I\} \quad (36)$$

Zakłada się strukturę szeregową oceny gotowości technicznej systemu. Oznacza to, że obsługa naziemna statku powietrznego wymaga, aby z każdego podzbioru urządzeń obsługi naziemnej UON_I co najmniej jedno urządzenie zrealizowało dany proces obsługi naziemnej każdego statku powietrznego. Liczba urządzeń niezbędnych do obsługi w danej chwili t zależy od rodzaju obsługiwanego statku powietrznego oraz od liczby jednocześnie obsługiwanych statków powietrznych w porcie lotniczym.

Do obliczenia gotowości systemu technicznego, dla każdego podzbioru $UON_i \subseteq UON$ w dowolnej chwili $t \in T$ definiuje się warunek koniecznego użycia co najmniej k_{uon^I} urządzeń z n_{uon^I} dostępnych urządzeń. Przyjmuje się, że do wyznaczenia gotowości systemu technicznego w strukturze k z n poszukiwana jest wartość maksymalna $kmax_{uon^I}$ użycia urządzeń w analizowanym czasie T (37).

$$kmax_{uon^I} = \max_{t \in T} k_{uon^I}(t) \quad (37)$$

Gotowość techniczną A^{SOT} systemu definiuje się zatem jako (38):

$$A^{SOT} = \prod_{l=1}^{11} A_{UON_l} \quad (38)$$

gdzie:

gotowość A_{UON_i} oznacza gotowość podzbioru UON_i i jest wyznaczana na podstawie (39).

$$A_{UON_l} = \sum_{\substack{UZ \subseteq \{1, \dots, n^l\}, \\ |UZ| \geq kmax_{uon^l}}} \left(\prod_{i \in UZ} A_{uon^l_i} \cdot \prod_{j \notin UZ} (1 - A_{uon^l_j}) \right) \quad (39)$$

gdzie:

n^l – liczba obiektów technicznych określonego typu l

$UZ \subseteq \{1, \dots, n^l\}$ – podzbiór elementów określonego typu l które są w danej chwili t zadane

$A_{uon^l_i}$ – prawdopodobieństwo gotowości i -tego obiektu technicznego określonego typu l w chwili t

$1 - A_{uon^l_j}$ – prawdopodobieństwo awarii j -tego obiektu technicznego określonego typu l w chwili t

Granice funkcji przynależności dla zmiennej opisującej gotowość obiektów technicznych ($A_{x_n}^{SOT}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (40), (41), (42):

- niska:

$$A_{x_n}^{SOT} \left(x_n^{A^{SOT}}; a_{x_n}^{A^{SOT}}, b_{x_n}^{A^{SOT}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{A^{SOT}} \leq a_{x_n}^{A^{SOT}} \\ \frac{b_{x_n}^{A^{SOT}} - x_n^{A^{SOT}}}{b_{x_n}^{A^{SOT}} - a_{x_n}^{A^{SOT}}} & \text{dla } a_{x_n}^{A^{SOT}} < x_n^{A^{SOT}} \leq b_{x_n}^{A^{SOT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^{SOT}} > b_{x_n}^{A^{SOT}} \end{cases} \quad (40)$$

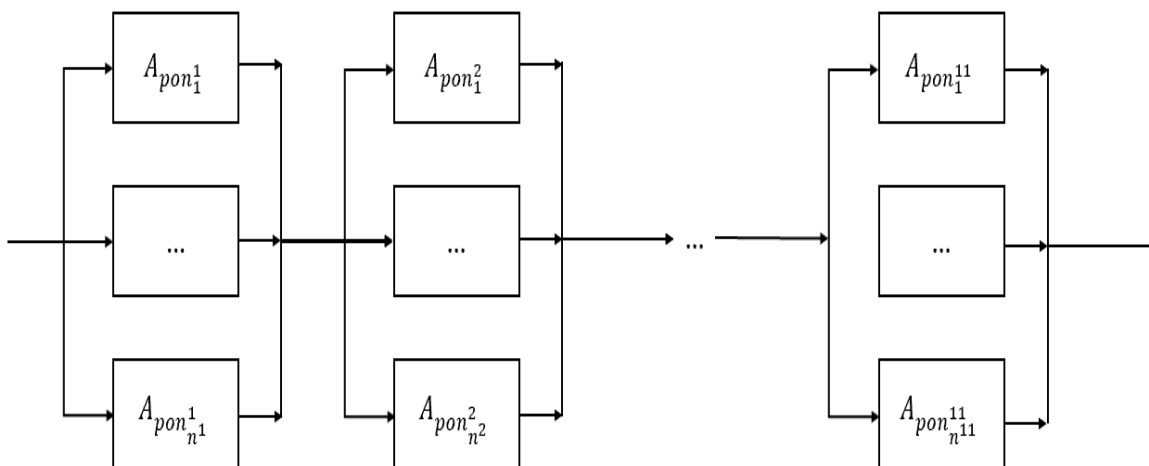
- średnia:

$$A_{x_n}^{SOT} \left(x_n^{A^{SOT}}; a_{x_n}^{A^{SOT}}, b_{x_n}^{A^{SOT}}, c_{x_n}^{A^{SOT}}, d_{x_n}^{A^{SOT}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{A^{SOT}} \leq a_{x_n}^{A^{SOT}} \\ \frac{x_n^{A^{SOT}} - a_{x_n}^{A^{SOT}}}{b_{x_n}^{A^{SOT}} - a_{x_n}^{A^{SOT}}} & \text{dla } a_{x_n}^{A^{SOT}} < x_n^{A^{SOT}} \leq b_{x_n}^{A^{SOT}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{A^{SOT}} < x_n^{A^{SOT}} \leq c_{x_n}^{A^{SOT}} \\ \frac{d_{x_n}^{A^{SOT}} - x_n^{A^{SOT}}}{d_{x_n}^{A^{SOT}} - c_{x_n}^{A^{SOT}}} & \text{dla } c_{x_n}^{A^{SOT}} < x_n^{A^{SOT}} \leq d_{x_n}^{A^{SOT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^{SOT}} > d_{x_n}^{A^{SOT}} \end{cases} \quad (41)$$

- wysoka:

$$A_{x_n}^{SOT} \left(x_n^{A_{SOT}}; c_{x_n}^{A_{SOT}}, d_{x_n}^{A_{SOT}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{A_{SOT}} \leq c_{x_n}^{A_{SOT}} \\ \frac{x_n^{A_{SOT}} - c_{x_n}^{A_{SOT}}}{d_{x_n}^{A_{SOT}} - c_{x_n}^{A_{SOT}}} & \text{dla } c_{x_n}^{A_{SOT}} < x_n^{A_{SOT}} \leq d_{x_n}^{A_{SOT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{A_{SOT}} > d_{x_n}^{A_{SOT}} \end{cases} \quad (42)$$

Rysunek 5.6 przedstawia strukturę gotowości operatorów do obsługi statku powietrznego.



Rysunek 5.6. Struktura gotowości operatorów obsługi naziemnej.

Port lotniczy posiada zbiór operatorów obsługi naziemnej PON (43).

$$PON = \{PON_I; I = 1, \dots, 11\} \quad (43)$$

gdzie:

PON₁ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi agregatów prądotwórczych

PON₂ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi urządzeń wentylacji statku powietrznego

PON₃ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi schodów lotniskowych

PON₄ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi podnośników taśmowych, bagażowych

PON₅ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi zestawów transportowych (ciągnik lotniskowy z zestawem przyczepki bagażowych)

PON₆ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi cystern

PON₇ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi technicznej statku powietrznego (sprzątanie)

PON₈ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi wody pitnej

PON₉ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi toalet

PON₁₀ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów obsługi cateringu

PON₁₁ – zbiór operatorów uprawnionych do obsługi pojazdów typu wypychacz statku powietrznego.

Zbiór PON zawiera 11 typów (PON_I ⊆ PON) grup operatorów, którzy posiadają określone kwalifikacje do realizacji czynności w procesie obsługi naziemnej. Każdy z podzbiorów PON_I zawiera wszystkich operatorów pon_i^I zatrudnionych przez port lotniczy, którzy posiadają uprawnienia do wykonywania danej grupy czynności (44).

$$PON_I = \{pon_i^I; i = 1, \dots, n^I\} \quad (44)$$

Zakłada się strukturę szeregową oceny gotowości operatorów systemu. Oznacza to, że obsługa naziemna statku powietrznego wymaga, aby z każdego podzbioru operatorów obsługi naziemnej PON_i co najmniej jeden zrealizował dany proces obsługi naziemnej każdego statku powietrznego. Liczba operatorów niezbędnych do obsługi w danej chwili t zależy od rodzaju obsługiwanego statku powietrznego oraz od liczby jednocześnie obsługiwanych statków powietrznych w porcie lotniczym.

Do obliczenia gotowości operatorów, dla każdego podzbioru $PON_i \subseteq PON$ w dowolnej chwili $t \in T$ definiuje się warunek koniecznej obecności co najmniej k_{pon^I} operatorów z n_{pon^I} dostępnych operatorów. Przyjmuje się, że do wyznaczenia gotowości operatorów w strukturze k z n poszukiwana jest wartość maksymalna $kmax_{pon^I}$ w analizowanym czasie T (45).

$$kmax_{pon^I} = \max_{t \in T} k_{pon^I}(t) \quad (45)$$

Gotowość operatorów A^{SOP} systemu definiuje się zatem jako (46):

$$A^{SOP} = \prod_{I=1}^{11} A_{PON^I} \quad (46)$$

gdzie:

gotowość A_{PON^I} oznacza gotowość podzbioru PON_i i jest wyznaczana na podstawie (47).

$$A_{PON^I} = \sum_{\substack{OZ \subseteq \{1, \dots, n^I\}, \\ |OZ| \geq kmax_{pon^I}}} \left(\prod_{i \in OZ} A_{pon^I} \cdot \prod_{j \notin OZ} (1 - A_{pon^I}) \right) \quad (47)$$

gdzie:

n^I – liczba operatorów określonego typu I

$OZ \subseteq \{1, \dots, n^I\}$ – podzbiór operatorów określonego typu I i wymaganych kwalifikacjach którzy są w danej chwili t dostępni

A_{pon^I} – prawdopodobieństwo dostępności i -tego operatora określonego typu I w chwili t

$1 - A_{pon^I}$ – prawdopodobieństwo niedostępności j -tego operatora określonego typu I w chwili t

Granice funkcji przynależności dla zmiennej opisującej gotowość personelu ($A_{x_n}^{POT}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (48), (49), (50):

- niska:

$$A_{x_n}^{POT} \left(x_n^{A^{POT}}; a_{x_n}^{A^{POT}}, b_{x_n}^{A^{POT}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{A^{POT}} \leq a_{x_n}^{A^{POT}} \\ \frac{b_{x_n}^{A^{POT}} - x_n^{A^{POT}}}{b_{x_n}^{A^{POT}} - a_{x_n}^{A^{POT}}} & \text{dla } a_{x_n}^{A^{POT}} < x_n^{A^{POT}} \leq b_{x_n}^{A^{POT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^{POT}} > b_{x_n}^{A^{POT}} \end{cases} \quad (48)$$

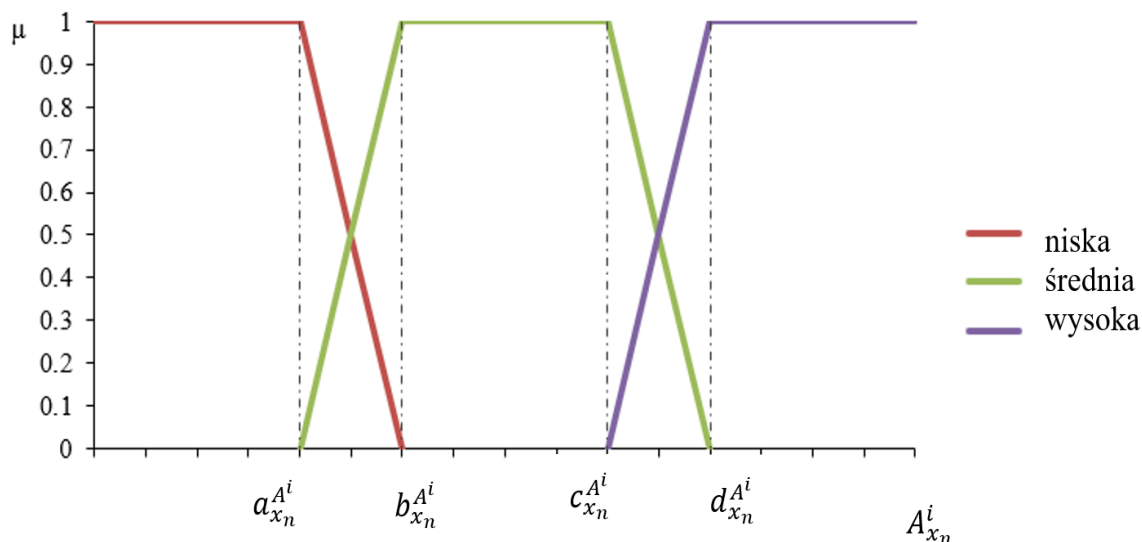
- średnia:

$$A_{x_n}^{POT} \left(x_n^{A^{POT}}; a_{x_n}^{A^{POT}}, b_{x_n}^{A^{POT}}, c_{x_n}^{A^{POT}}, d_{x_n}^{A^{POT}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{A^{POT}} \leq a_{x_n}^{A^{POT}} \\ \frac{x_n^{A^{POT}} - a_{x_n}^{A^{POT}}}{b_{x_n}^{A^{POT}} - a_{x_n}^{A^{POT}}} & \text{dla } a_{x_n}^{A^{POT}} < x_n^{A^{POT}} \leq b_{x_n}^{A^{POT}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{A^{POT}} < x_n^{A^{POT}} \leq c_{x_n}^{A^{POT}} \\ \frac{d_{x_n}^{A^{POT}} - x_n^{A^{POT}}}{d_{x_n}^{A^{POT}} - c_{x_n}^{A^{POT}}} & \text{dla } c_{x_n}^{A^{POT}} < x_n^{A^{POT}} \leq d_{x_n}^{A^{POT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^{POT}} > d_{x_n}^{A^{POT}} \end{cases} \quad (49)$$

- wysoka:

$$A_{x_n}^{POT} \left(x_n^{A^{POT}}; c_{x_n}^{A^{POT}}, d_{x_n}^{A^{POT}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{A^{POT}} \leq c_{x_n}^{A^{POT}} \\ \frac{x_n^{A^{POT}} - c_{x_n}^{A^{POT}}}{d_{x_n}^{A^{POT}} - c_{x_n}^{A^{POT}}} & \text{dla } c_{x_n}^{A^{POT}} < x_n^{A^{POT}} \leq d_{x_n}^{A^{POT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^{POT}} > d_{x_n}^{A^{POT}} \end{cases} \quad (50)$$

Rysunek 5.7 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom gotowości.



Rysunek 5.7. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej gotowość.

5.2.6. OCENA PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKU POWIETRZNEGO

Ocena procesu obsługi naziemnej (Ocenaⁱ) to zmienna wyjściowa, która określa poziom procesu obsługi naziemnej w porcie lotniczym. Wartość oceny procesu obsługi naziemnej wyznaczona jest w skali od 0 do 6. Granice funkcji przynależności dla zmiennej opisującej ocenę procesu obsługi naziemnej (Ocenaⁱ_{x_n}) zdefiniowano za pomocą wzorów (51), (52), (53):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^i(x_n^{Ocena^i}; a_{x_n}^{Ocena^i}, b_{x_n}^{Ocena^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} \leq a_{x_n}^{Ocena^i} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^i} - a_{x_n}^{Ocena^i}}{b_{x_n}^{Ocena^i} - a_{x_n}^{Ocena^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^i} < x_n^{Ocena^i} \leq b_{x_n}^{Ocena^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} > b_{x_n}^{Ocena^i} \end{cases} \quad (51)$$

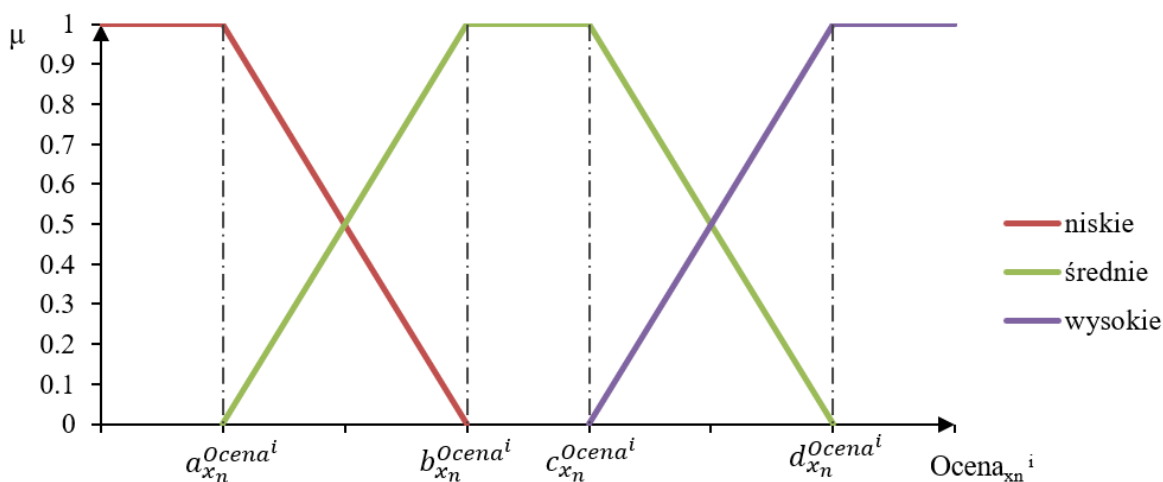
- średnia:

$$Ocena_{x_n}^i(x_n^{Ocena^i}; a_{x_n}^{Ocena^i}, b_{x_n}^{Ocena^i}, c_{x_n}^{Ocena^i}, d_{x_n}^{Ocena^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} \leq a_{x_n}^{Ocena^i} \\ \frac{x_n^{Ocena^i} - a_{x_n}^{Ocena^i}}{b_{x_n}^{Ocena^i} - a_{x_n}^{Ocena^i}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^i} < x_n^{Ocena^i} \leq b_{x_n}^{Ocena^i} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^i} < x_n^{Ocena^i} \leq c_{x_n}^{Ocena^i} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^i} - x_n^{Ocena^i}}{d_{x_n}^{Ocena^i} - c_{x_n}^{Ocena^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^i} < x_n^{Ocena^i} \leq d_{x_n}^{Ocena^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} > d_{x_n}^{Ocena^i} \end{cases} \quad (52)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^i(x_n^{Ocena^i}; c_{x_n}^{Ocena^i}, d_{x_n}^{Ocena^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} \leq c_{x_n}^{Ocena^i} \\ \frac{x_n^{Ocena^i} - c_{x_n}^{Ocena^i}}{c_{x_n}^{Ocena^i} - c_{x_n}^{Ocena^i}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^i} < x_n^{Ocena^i} \leq d_{x_n}^{Ocena^i} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} > d_{x_n}^{Ocena^i} \end{cases} \quad (53)$$

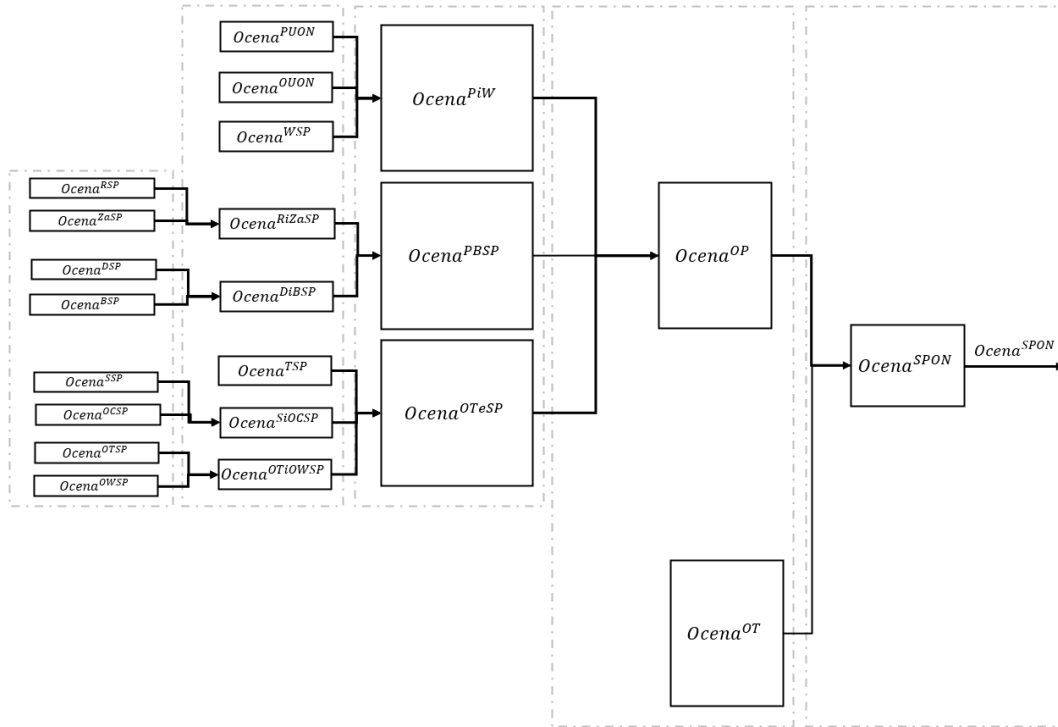
Rysunek 5.8 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom.



Rysunek 5.8. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej ocenę procesu obsługi naziemnej.

5.3. STRUKTURA MODELU OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZY

Model oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym zakłada realizację pełnej obsługi naziemnej statku powietrznego. Model oceny składa się z dwóch głównych elementów oceny operacyjnej i taktycznej. Rysunek 5.9 przedstawia ogólną strukturę modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.



Rysunek 5.9. Struktura modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym ($Ocena^{SPON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (54), (55), (56):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{SPON}(x_n^{Ocena^{SPON}}; a_{x_n}^{Ocena^{SPON}}, b_{x_n}^{Ocena^{SPON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SPON}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{SPON}} - x_n^{Ocena^{SPON}}}{b_{x_n}^{Ocena^{SPON}} - a_{x_n}^{Ocena^{SPON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{SPON}} < x_n^{Ocena^{SPON}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SPON}} > b_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \end{cases} \quad (54)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{SPON}(x_n^{Ocena^{SPON}}; a_{x_n}^{Ocena^{SPON}}, b_{x_n}^{Ocena^{SPON}}, c_{x_n}^{Ocena^{SPON}}, d_{x_n}^{Ocena^{SPON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SPON}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{SPON}} - a_{x_n}^{Ocena^{SPON}}}{b_{x_n}^{Ocena^{SPON}} - a_{x_n}^{Ocena^{SPON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{SPON}} < x_n^{Ocena^{SPON}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{SPON}} < x_n^{Ocena^{SPON}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{SPON}} - x_n^{Ocena^{SPON}}}{d_{x_n}^{Ocena^{SPON}} - c_{x_n}^{Ocena^{SPON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{SPON}} < x_n^{Ocena^{SPON}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SPON}} > d_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \end{cases} \quad (55)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{SPON}(x_n^{Ocena^{SPON}}; c_{x_n}^{Ocena^{SPON}}, d_{x_n}^{Ocena^{SPON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SPON}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{SPON}} - c_{x_n}^{Ocena^{SPON}}}{d_{x_n}^{Ocena^{SPON}} - c_{x_n}^{Ocena^{SPON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{SPON}} < x_n^{Ocena^{SPON}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SPON}} > d_{x_n}^{Ocena^{SPON}} \end{cases} \quad (56)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym ($Ocena^{SPON}$) przedstawia Załącznik 1. Tabela 5.3 przedstawia zestawienie reguł modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

Tabela 5.1. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|---|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest niska) i ($Ocena^{OT}$ jest niska) to ($Ocena^{SPON}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest niska) i ($Ocena^{OT}$ jest średnia) to ($Ocena^{SPON}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest niska) i ($Ocena^{OT}$ jest wysoka) to ($Ocena^{SPON}$ jest średnia) (1) |
| 4 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OT}$ jest niska) to ($Ocena^{SPON}$ jest niska) (1) |
| 5 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OT}$ jest średnia) to ($Ocena^{SPON}$ jest średnia) (1) |
| 6 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OT}$ jest wysoka) to ($Ocena^{SPON}$ jest wysoka) (1) |
| 7 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OT}$ jest niska) to ($Ocena^{SPON}$ jest średnia) (1) |
| 8 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OT}$ jest średnia) to ($Ocena^{SPON}$ jest wysoka) (1) |
| 9 | Jeśli ($Ocena^{OP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OT}$ jest wysoka) to ($Ocena^{SPON}$ jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (57).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (57)$$

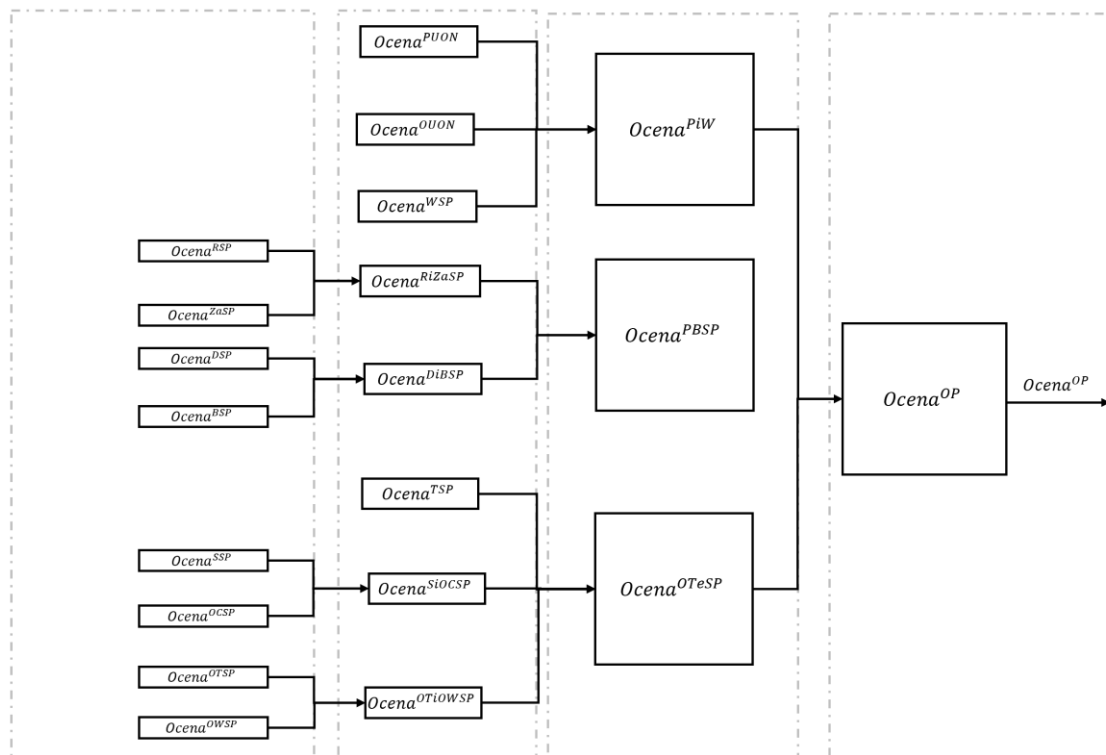
gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Struktury poszczególnych elementów modelu zostaną szczegółowo zaprezentowane w rozdziałach: 5.3.1 i 5.3.2.

5.3.1. STRUKTURA MODELU OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZYM

Rysunek 5.10 przedstawia strukturę modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.



Rysunek 5.10. Struktura modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

Ocena operacyjna polega na ocenie podstawowych operacji związanych z obsługą naziemną statku powietrznego. Ocena ta ma na celu zidentyfikowanie czynności, które charakteryzują się niską, średnią i wysoką oceną operacyjną. Wśród elementów oceny operacyjnej identyfikuje się:

- a. Ocenę procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego ($Ocena^{PiW}$) – obejmującą analizę operacji obsługi naziemnej związanych z podłączaniem i odłączaniem urządzeń zapewniających zewnętrzne źródło zasilania i wentylację, a także realizację manewru wypychania statku powietrznego ze stanowiska postojowego.
- b. Ocenę obsługi pasażersko-bagażowej ($Ocena^{PBSP}$):
 - i. Ocenę procesu rozładunku i załadunku statku powietrznego ($Ocena^{RiZaSP}$) – obejmującą analizę operacji obsługi naziemnej związanych z załadunkiem i rozładunkiem statku powietrznego na stanowisku postojowym. Ocena ta koncentruje się na przemieszczaniu bagażu z luku bagażowego oraz procesie umieszczania bagażu w luku statku powietrznego.
 - ii. Ocenę procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego ($Ocena^{DiBSP}$) – obejmującą analizę operacji obsługi naziemnej związanych z deboardowaniem (proces opuszczania przez pasażerów statku powietrznego) i boardowaniem (proces wsiadania pasażerów na pokład statku powietrznego). Ocena ta koncentruje się na procesie fizycznego przemieszczania się pasażerów statku powietrznego.
- c. Ocenę procesów obsługi technicznej statku powietrznego ($Ocena^{TeSP}$):
 - i. Ocenę procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego ($Ocena^{OTiOWSP}$) – obejmującą analizę operacji obsługi naziemnej związanych z obsługą wody i toalet statku powietrznego na stanowisku postojowym. Ocena ta koncentruje się na uzupełnianiu wody pitnej w zbiornikach statku powietrznego oraz opróżnianiu zbiorników ścieków.
 - ii. Ocenę sprzątnięcia i obsługi cateringu statku powietrznego ($Ocena^{SiOCSP}$) – obejmującą analizę operacji obsługi naziemnej związanych z dostarczaniem zaopatrzenia cateringowego oraz realizacją czynności porządkowych na stanowisku postojowym. Ocena ta koncentruje się na załadunku i rozładunku wyposażenia cateringowego, uzupełnianiu zapasów pokładowych oraz utrzymaniu czystości kabiny pasażerskiej i przestrzeni użytkowych statku powietrznego.
 - iii. Ocenę procesu tankowania statku powietrznego ($Ocena^{TSP}$) – obejmującą analizę operacji obsługi naziemnej związanych z dostarczaniem paliwa lotniczego oraz czynności związanych z jego bezpiecznym transferem do zbiorników statku powietrznego. Ocena ta koncentruje się na podłączeniu urządzeń tankujących, realizacji procesu tankowania statku powietrznego, zapewnieniu zgodności z obowiązującymi procedurami bezpieczeństwa oraz prawidłowym odłączeniu urządzeń tankujących po zakończeniu operacji.

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny operacyjnej ($Ocena^{OP}$) przedstawia Załącznik 2.

Tabela 5.2 przedstawia zestawienie przykładowych reguł modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

Tabela 5.2. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|---|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest niska) i ($Ocena^{PBSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TeSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OP}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest niska) i ($Ocena^{PBSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TeSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OP}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest niska) i ($Ocena^{PBSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TeSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OP}$ jest niska) (1) |
| ... | |
| 13 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest średnia) i ($Ocena^{PBSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{TeSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OP}$ jest średnia) (1) |
| 14 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest średnia) i ($Ocena^{PBSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{TeSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OP}$ jest średnia) (1) |
| 15 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest średnia) i ($Ocena^{PBSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{TeSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OP}$ jest średnia) (1) |
| ... | |
| 25 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest wysoka) i ($Ocena^{PBSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TeSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OP}$ jest średnia) (1) |
| 26 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest niska) i ($Ocena^{PBSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{TeSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OP}$ jest średnia) (1) |
| 27 | Jeśli ($Ocena^{PiW}$ jest wysoka) i ($Ocena^{PBSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TeSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OP}$ jest niska) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (57).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (58)$$

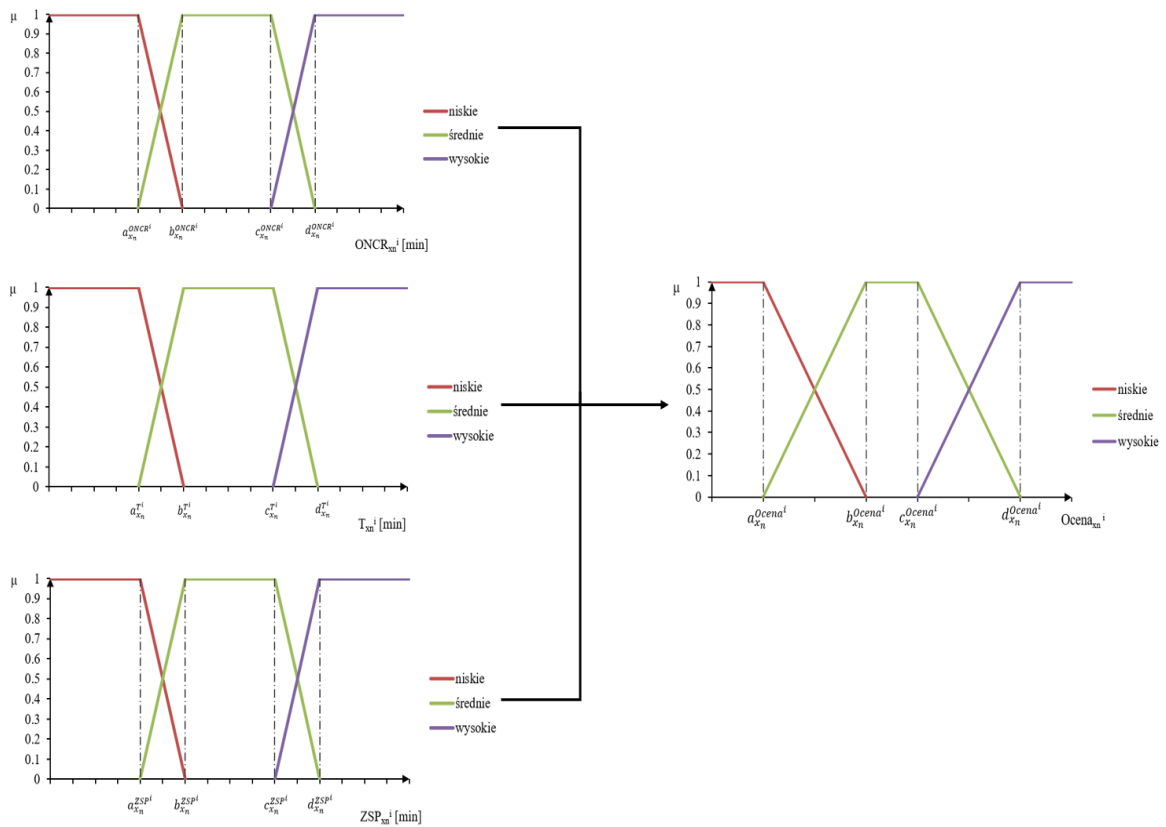
gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

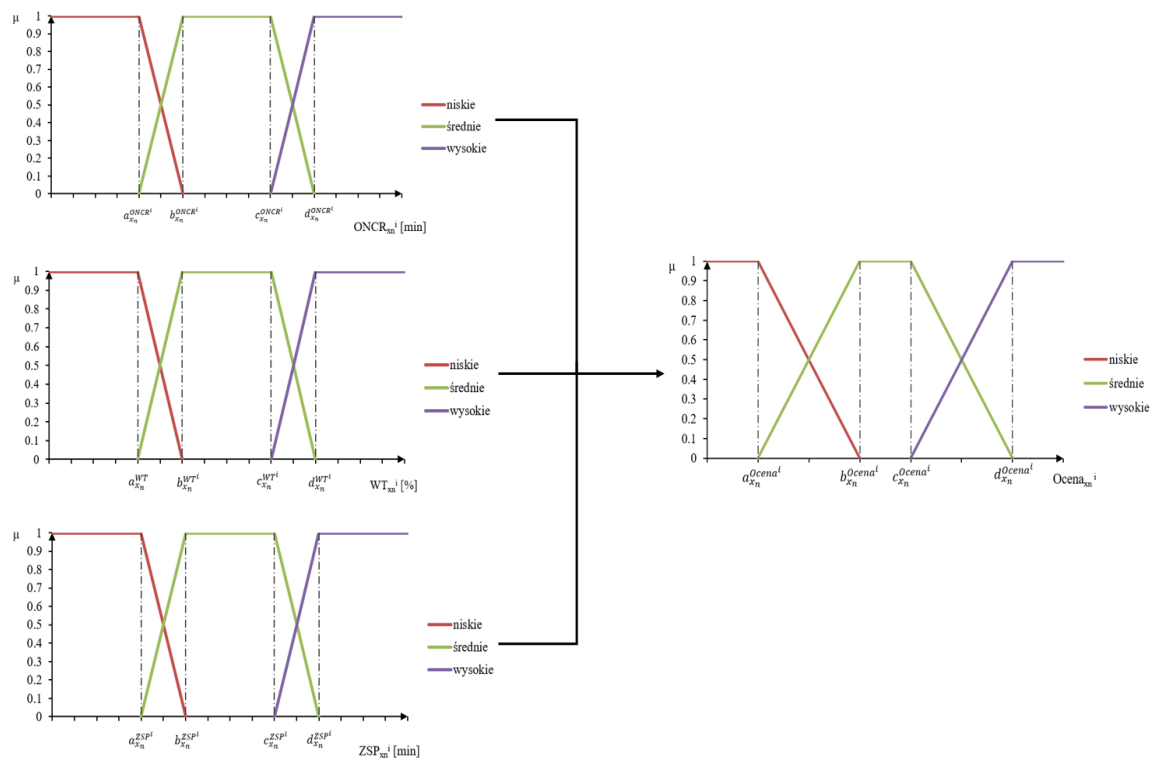
Szczegółowy opis modelu oceny przygotowania i wypychania statku powietrznego ($Ocena^{PiW}$), modelu oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej ($Ocena^{PBSP}$) oraz modelu oceny technicznej procesu obsługi naziemnej statku powietrznego ($Ocena^{TeSP}$) zaprezentowano odpowiednio w 5.3.1.2, 5.3.1.3, 5.3.1.4.

5.3.1.1. Model oceny czynności procesów obsługi naziemnej

Model oceny operacyjnej obejmuje szereg czynności związanych z obsługą naziemną statku powietrznego. Model oceny czynności obsługowych procesu obsługi naziemnej statku powietrznego opiera się na parametrach związanych z odchyleniem od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności, czasem trwania czynności lub wskaźnikiem czasu trwania czynności i odchyleniem chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu. Rysunek 5.11 i Rysunek 5.12 przedstawiają strukturę oceny i -tej czynności procesu obsługi naziemnej.



Rysunek 5.11. Model oceny dla czynności nieobjętych instrukcją operacyjną.



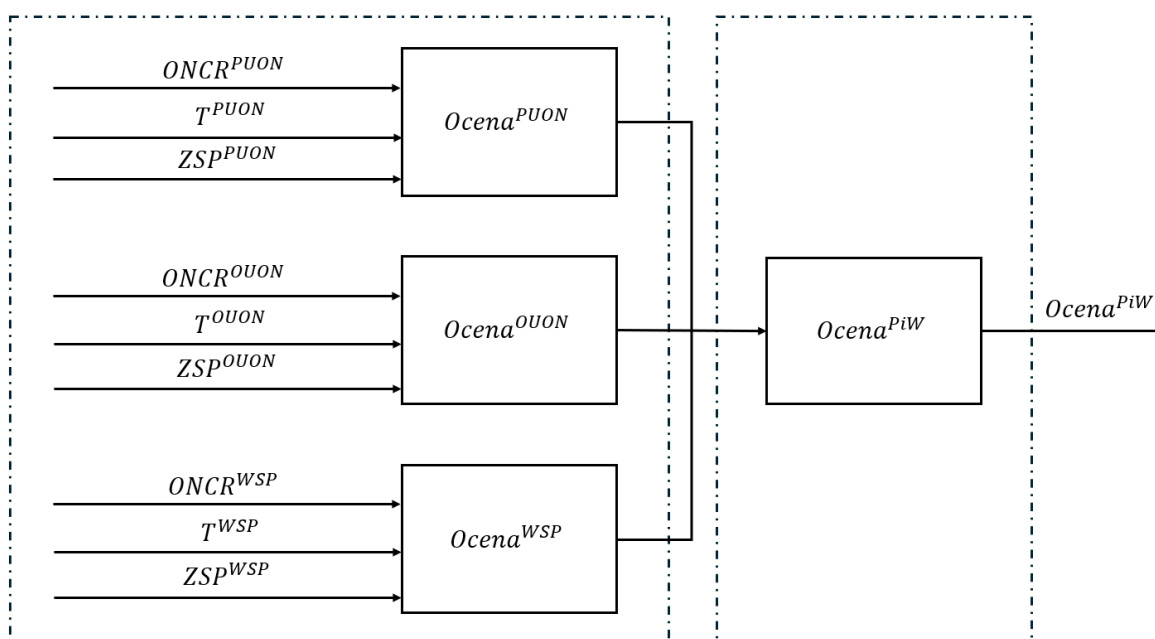
Rysunek 5.12. Model oceny dla czynności objętych instrukcją operacyjną.

Wybór modelu oceny zależy od czynności ujętych w instrukcjach operacyjnych statku powietrznego. Zmienna czasu trwania czynności stanowi zmienną wejściową dla czynności,

dla których w instrukcji operacyjnej obsługi naziemnej danego typu statku powietrznego nie określono ich czasu realizacji. Wśród tych czynności wskazuje się podłączanie urządzeń obsługi naziemnej (PUON), odłączanie urządzeń obsługi naziemnej (OUON) i wypychanie statku powietrznego (WSP). Zmienna wskaźnik czasu trwania dotyczy czynności obsługi naziemnej tj. rozładunek (RSP), załadunek (ZaSP), deboarding (DSP), boarding (BSP), tankowanie (TSP), obsługa toalet (OTSP), obsługa wody (OWSP), obsługa cateringu (OCSP) i sprzątanie (SSP).

5.3.1.2. Model oceny przygotowania i wypychania statku powietrznego

Model oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego składa się z oceny podłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{PUON}$), oceny odłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{OUON}$) oraz oceny wypychania statku powietrznego ($Ocena^{WSP}$). Rysunek 5.13 przedstawia strukturę modelu oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego.



Rysunek 5.13. Struktura modelu oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego.

Proces podłączania urządzeń obsługi naziemnej dotyczy realizacji czynności związanych z przyłączeniem zewnętrznego źródła zasilania i wentylacji, niezbędnych do realizacji obsługi naziemnej. W zależności od infrastruktury lotniskowej oraz sposobu organizacji obsługi czynności te mogą być realizowane zarówno z poziomu płyty lotniska, jak i z wykorzystaniem rękawa pasażerskiego.

Ocena podłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{PUON}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności podłączania źródła zasilania ($ONCR_{x_n}^{PUON}$), czasie trwania czynności podłączania źródła zasilania ($T_{x_n}^{PUON}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{PUON}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia czynności podłączania źródła zasilania ($ONCR_{x_n}^{PUON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (59), (60), (61):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{PUON}(x_n^{ONCR^{PUON}}; a_{x_n}^{ONCR^{PUON}}, b_{x_n}^{ONCR^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{PUON}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{PUON}} - x_n^{ONCR^{PUON}}}{b_{x_n}^{ONCR^{PUON}} - a_{x_n}^{ONCR^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{PUON}} < x_n^{ONCR^{PUON}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{PUON}} > b_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \end{cases} \quad (59)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{PUON}(x_n^{ONCR^{PUON}}; a_{x_n}^{ONCR^{PUON}}, b_{x_n}^{ONCR^{PUON}}, c_{x_n}^{ONCR^{PUON}}, d_{x_n}^{ONCR^{PUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{PUON}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{PUON}} - a_{x_n}^{ONCR^{PUON}}}{b_{x_n}^{ONCR^{PUON}} - a_{x_n}^{ONCR^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{PUON}} < x_n^{ONCR^{PUON}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{PUON}} < x_n^{ONCR^{PUON}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{PUON}} - x_n^{ONCR^{PUON}}}{d_{x_n}^{ONCR^{PUON}} - c_{x_n}^{ONCR^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{PUON}} < x_n^{ONCR^{PUON}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{PUON}} > d_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \end{cases} \quad (60)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{PUON}(x_n^{ONCR^{PUON}}; c_{x_n}^{ONCR^{PUON}}, d_{x_n}^{ONCR^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{PUON}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{PUON}} - c_{x_n}^{ONCR^{PUON}}}{d_{x_n}^{ONCR^{PUON}} - c_{x_n}^{ONCR^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{PUON}} < x_n^{ONCR^{PUON}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{PUON}} > d_{x_n}^{ONCR^{PUON}} \end{cases} \quad (61)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej czas trwania podłączenia źródła zasilania ($T_{x_n}^{OUON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (62), (63), (64):

- krótki:

$$T_{x_n}^{PUON}(x_n^{T^{PUON}}; a_{x_n}^{T^{PUON}}, b_{x_n}^{T^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} \leq a_{x_n}^{T^{PUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{T^{PUON}} - x_n^{T^{PUON}}}{b_{x_n}^{T^{PUON}} - a_{x_n}^{T^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{T^{PUON}} < x_n^{T^{PUON}} \leq b_{x_n}^{T^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} > b_{x_n}^{T^{PUON}} \end{cases} \quad (62)$$

- średni:

$$T_{x_n}^{PUON}(x_n^{T^{PUON}}; a_{x_n}^{T^{PUON}}, b_{x_n}^{T^{PUON}}, c_{x_n}^{T^{PUON}}, d_{x_n}^{T^{PUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} \leq a_{x_n}^{T^{PUON}} \\ \frac{x_n^{T^{PUON}} - a_{x_n}^{T^{PUON}}}{b_{x_n}^{T^{PUON}} - a_{x_n}^{T^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{T^{PUON}} < x_n^{T^{PUON}} \leq b_{x_n}^{T^{PUON}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{T^{PUON}} < x_n^{T^{PUON}} \leq c_{x_n}^{T^{PUON}} \\ \frac{d_{x_n}^{T^{PUON}} - x_n^{T^{PUON}}}{d_{x_n}^{T^{PUON}} - c_{x_n}^{T^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{T^{PUON}} < x_n^{T^{PUON}} \leq d_{x_n}^{T^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} > d_{x_n}^{T^{PUON}} \end{cases} \quad (63)$$

- wysoki:

$$T_{x_n}^{PUON}(x_n^{T^{PUON}}; c_{x_n}^{T^{PUON}}, d_{x_n}^{T^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} \leq c_{x_n}^{T^{PUON}} \\ \frac{x_n^{T^{PUON}} - c_{x_n}^{T^{PUON}}}{d_{x_n}^{T^{PUON}} - c_{x_n}^{T^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{T^{PUON}} < x_n^{T^{PUON}} \leq d_{x_n}^{T^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} > d_{x_n}^{T^{PUON}} \end{cases} \quad (64)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{PUON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (65), (66), (67):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{PUON}(x_n^{ZSP^{PUON}}; a_{x_n}^{ZSP^{PUON}}, b_{x_n}^{ZSP^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{PUON}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{PUON}} - x_n^{ZSP^{PUON}}}{b_{x_n}^{ZSP^{PUON}} - a_{x_n}^{ZSP^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{PUON}} < x_n^{ZSP^{PUON}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{PUON}} > b_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \end{cases} \quad (65)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{PUON}(x_n^{ZSP^{PUON}}; a_{x_n}^{ZSP^{PUON}}, b_{x_n}^{ZSP^{PUON}}, c_{x_n}^{ZSP^{PUON}}, d_{x_n}^{ZSP^{PUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{PUON}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{PUON}} - a_{x_n}^{ZSP^{PUON}}}{b_{x_n}^{ZSP^{PUON}} - a_{x_n}^{ZSP^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{PUON}} < x_n^{ZSP^{PUON}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{PUON}} < x_n^{ZSP^{PUON}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{PUON}} - x_n^{ZSP^{PUON}}}{d_{x_n}^{ZSP^{PUON}} - c_{x_n}^{ZSP^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{PUON}} < x_n^{ZSP^{PUON}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{PUON}} > d_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \end{cases} \quad (66)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{PUON}(x_n^{ZSP^{PUON}}; c_{x_n}^{ZSP^{PUON}}, d_{x_n}^{ZSP^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{PUON}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{PUON}} - c_{x_n}^{ZSP^{PUON}}}{d_{x_n}^{ZSP^{PUON}} - c_{x_n}^{ZSP^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{PUON}} < x_n^{ZSP^{PUON}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{PUON}} > d_{x_n}^{ZSP^{PUON}} \end{cases} \quad (67)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny procesu podłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{PUON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (68), (69), (70):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{PUON}(x_n^{Ocena^{PUON}}; a_{x_n}^{Ocena^{PUON}}, b_{x_n}^{Ocena^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PUON}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{PUON}} - x_n^{Ocena^{PUON}}}{b_{x_n}^{Ocena^{PUON}} - a_{x_n}^{Ocena^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{PUON}} < x_n^{Ocena^{PUON}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PUON}} > b_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \end{cases} \quad (68)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{PUON}(x_n^{Ocena^{PUON}}; a_{x_n}^{Ocena^{PUON}}, b_{x_n}^{Ocena^{PUON}}, c_{x_n}^{Ocena^{PUON}}, d_{x_n}^{Ocena^{PUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PUON}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{PUON}} - a_{x_n}^{Ocena^{PUON}}}{b_{x_n}^{Ocena^{PUON}} - a_{x_n}^{Ocena^{PUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{PUON}} < x_n^{Ocena^{PUON}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{PUON}} < x_n^{Ocena^{PUON}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{PUON}} - x_n^{Ocena^{PUON}}}{d_{x_n}^{Ocena^{PUON}} - c_{x_n}^{Ocena^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{PUON}} < x_n^{Ocena^{PUON}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PUON}} > d_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \end{cases} \quad (69)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{PUON}(x_n^{Ocena^{PUON}}; c_{x_n}^{Ocena^{PUON}}, d_{x_n}^{Ocena^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PUON}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{PUON}} - c_{x_n}^{Ocena^{PUON}}}{d_{x_n}^{Ocena^{PUON}} - c_{x_n}^{Ocena^{PUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{PUON}} < x_n^{Ocena^{PUON}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PUON}} > d_{x_n}^{Ocena^{PUON}} \end{cases} \quad (70)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu podłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{PUON}$) przedstawia Załącznik 3. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości

wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (71).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (71)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Proces odłączania urządzeń obsługi naziemnej dotyczy realizacji czynności związanych z odłączeniem zewnętrznego źródła zasilania i wentylacji, niezbędnych do realizacji obsługi naziemnej. W zależności od infrastruktury lotniskowej oraz sposobu organizacji obsługi, czynności te mogą być realizowane zarówno z poziomu płyty lotniska, jak i z wykorzystaniem rękawa pasażerskiego.

Ocena odłączania urządzeń obsługi naziemnej (Ocena^{OUON}) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności odłączania źródła zasilania ($ONCR_{x_n}^{OUON}$), czasu trwania odłączania źródła zasilania ($T_{x_n}^{OUON}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OUON}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia czynności odłączania źródła zasilania ($ONCR_{x_n}^{OUON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (72), (73), (74):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{OUON}(x_n^{ONCR^{OUON}}; a_{x_n}^{ONCR^{OUON}}, b_{x_n}^{ONCR^{OUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OUON}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - x_n^{ONCR^{OUON}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - a_{x_n}^{ONCR^{OUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OUON}} < x_n^{ONCR^{OUON}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OUON}} > b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \end{cases} \quad (72)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{OUON}(x_n^{ONCR^{OUON}}; a_{x_n}^{ONCR^{OUON}}, b_{x_n}^{ONCR^{OUON}}, c_{x_n}^{ONCR^{OUON}}, d_{x_n}^{ONCR^{OUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OUON}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OUON}} - a_{x_n}^{ONCR^{OUON}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - a_{x_n}^{ONCR^{OUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OUON}} < x_n^{ONCR^{OUON}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - x_n^{ONCR^{OUON}}}{c_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - b_{x_n}^{ONCR^{OUON}}} & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{OUON}} < x_n^{ONCR^{OUON}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - x_n^{ONCR^{OUON}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - c_{x_n}^{ONCR^{OUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OUON}} < x_n^{ONCR^{OUON}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OUON}} > d_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \end{cases} \quad (73)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{OUON}(x_n^{ONCR^{OUON}}; c_{x_n}^{ONCR^{OUON}}, d_{x_n}^{ONCR^{OUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OUON}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OUON}} - c_{x_n}^{ONCR^{OUON}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OUON}} - c_{x_n}^{ONCR^{OUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OUON}} < x_n^{ONCR^{OUON}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OUON}} > d_{x_n}^{ONCR^{OUON}} \end{cases} \quad (74)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej czas trwania odłączania źródła zasilania ($T_{x_n}^{OUON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (75), (76), (77):

- krótki:

$$T_{x_n}^{OUON}(x_n^{TOUON}; a_{x_n}^{TOUON}, b_{x_n}^{TOUON}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{TOUON} \leq a_{x_n}^{TOUON} \\ \frac{b_{x_n}^{TOUON} - x_n^{TOUON}}{b_{x_n}^{TOUON} - a_{x_n}^{TOUON}} & \text{dla } a_{x_n}^{TOUON} < x_n^{TOUON} \leq b_{x_n}^{TOUON} \\ 0 & \text{dla } x_n^{TOUON} > b_{x_n}^{TOUON} \end{cases} \quad (75)$$

- średni:

$$T_{x_n}^{OUON}(x_n^{TOUON}; a_{x_n}^{TOUON}, b_{x_n}^{TOUON}, c_{x_n}^{TOUON}, d_{x_n}^{TOUON}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{TOUON} \leq a_{x_n}^{TOUON} \\ \frac{x_n^{TOUON} - a_{x_n}^{TOUON}}{b_{x_n}^{TOUON} - a_{x_n}^{TOUON}} & \text{dla } a_{x_n}^{TOUON} < x_n^{TOUON} \leq b_{x_n}^{TOUON} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{TOUON} < x_n^{TOUON} \leq c_{x_n}^{TOUON} \\ \frac{d_{x_n}^{TOUON} - x_n^{TOUON}}{d_{x_n}^{TOUON} - c_{x_n}^{TOUON}} & \text{dla } c_{x_n}^{TOUON} < x_n^{TOUON} \leq d_{x_n}^{TOUON} \\ 0 & \text{dla } x_n^{TOUON} > d_{x_n}^{TOUON} \end{cases} \quad (76)$$

- wysoki:

$$T_{x_n}^{OUON}(x_n^{TOUON}; c_{x_n}^{TOUON}, d_{x_n}^{TOUON}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{TOUON} \leq c_{x_n}^{TOUON} \\ \frac{x_n^{TOUON} - c_{x_n}^{TOUON}}{d_{x_n}^{TOUON} - c_{x_n}^{TOUON}} & \text{dla } c_{x_n}^{TOUON} < x_n^{TOUON} \leq d_{x_n}^{TOUON} \\ 0 & \text{dla } x_n^{TOUON} > d_{x_n}^{TOUON} \end{cases} \quad (77)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OUON}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (78), (79), (80):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{OUON}(x_n^{ZSP^{OUON}}; a_{x_n}^{ZSP^{OUON}}, b_{x_n}^{ZSP^{OUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OUON}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{OUON}} - x_n^{ZSP^{OUON}}}{b_{x_n}^{ZSP^{OUON}} - a_{x_n}^{ZSP^{OUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{OUON}} < x_n^{ZSP^{OUON}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OUON}} > b_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \end{cases} \quad (78)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{OUON}(x_n^{ZSP^{OUON}}; a_{x_n}^{ZSP^{OUON}}, b_{x_n}^{ZSP^{OUON}}, c_{x_n}^{ZSP^{OUON}}, d_{x_n}^{ZSP^{OUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OUON}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{OUON}} - a_{x_n}^{ZSP^{OUON}}}{b_{x_n}^{ZSP^{OUON}} - a_{x_n}^{ZSP^{OUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{OUON}} < x_n^{ZSP^{OUON}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{OUON}} < x_n^{ZSP^{OUON}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{OUON}} - x_n^{ZSP^{OUON}}}{d_{x_n}^{ZSP^{OUON}} - c_{x_n}^{ZSP^{OUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{OUON}} < x_n^{ZSP^{OUON}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OUON}} > d_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \end{cases} \quad (79)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{OUON}(x_n^{ZSP^{OUON}}; c_{x_n}^{ZSP^{OUON}}, d_{x_n}^{ZSP^{OUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OUON}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{OUON}} - c_{x_n}^{ZSP^{OUON}}}{d_{x_n}^{ZSP^{OUON}} - c_{x_n}^{ZSP^{OUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{OUON}} < x_n^{ZSP^{OUON}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OUON}} > d_{x_n}^{ZSP^{OUON}} \end{cases} \quad (80)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny odłączania urządzeń obsługi naziemnej (Ocena^{OUON}) zdefiniowano za pomocą wzorów (81), (82), (83):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{OUON}(x_n^{Ocena^{OUON}}; a_{x_n}^{Ocena^{OUON}}, b_{x_n}^{Ocena^{OUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OUON}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{OUON}} - x_n^{Ocena^{OUON}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OUON}} - a_{x_n}^{Ocena^{OUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OUON}} < x_n^{Ocena^{OUON}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OUON}} > b_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \end{cases} \quad (81)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{OUON}(x_n^{Ocena^{OUON}}; a_{x_n}^{Ocena^{OUON}}, b_{x_n}^{Ocena^{OUON}}, c_{x_n}^{Ocena^{OUON}}, d_{x_n}^{Ocena^{OUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OUON}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OUON}} - a_{x_n}^{Ocena^{OUON}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OUON}} - a_{x_n}^{Ocena^{OUON}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OUON}} < x_n^{Ocena^{OUON}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{OUON}} < x_n^{Ocena^{OUON}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{OUON}} - x_n^{Ocena^{OUON}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OUON}} - c_{x_n}^{Ocena^{OUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OUON}} < x_n^{Ocena^{OUON}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OUON}} > d_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \end{cases} \quad (82)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{OUON}(x_n^{Ocena^{OUON}}; c_{x_n}^{Ocena^{OUON}}, d_{x_n}^{Ocena^{OUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OUON}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OUON}} - c_{x_n}^{Ocena^{OUON}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OUON}} - c_{x_n}^{Ocena^{OUON}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OUON}} < x_n^{Ocena^{OUON}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OUON}} > d_{x_n}^{Ocena^{OUON}} \end{cases} \quad (83)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu odłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{OUON}$) przedstawia Załącznik 4. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (84).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (84)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy

Proces wypychania statku powietrznego dotyczy realizacji czynności związanych z naziemną procedurą, w której ciągnik holowniczy wypycha statek powietrzny z miejsca postojowego na drogę kołowania. Ocena wypychania statku powietrznego ($Ocena^{WSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności wypychania ($ONCR_{x_n}^{WSP}$), czasu trwania wypychania ($T_{x_n}^{WSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{WSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia czynności wypychania ($ONCR_{x_n}^{WSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (85), (86), (87):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{WSP}(x_n^{ONCR^{WSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{WSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{WSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{WSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{WSP}} - x_n^{ONCR^{WSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{WSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{WSP}} < x_n^{ONCR^{WSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{WSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \end{cases} \quad (85)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{WSP}(x_n^{ONCR^{WSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{WSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{WSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{WSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{WSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{WSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{WSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{WSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{WSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{WSP}} < x_n^{ONCR^{WSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{WSP}} < x_n^{ONCR^{WSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{WSP}} - x_n^{ONCR^{WSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{WSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{WSP}} < x_n^{ONCR^{WSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{WSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \end{cases} \quad (86)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{OUON} ONCR_{x_n}^{WSP}(x_n^{ONCR^{WSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{WSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{WSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{WSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{WSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{WSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{WSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{WSP}} < x_n^{ONCR^{WSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{WSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{WSP}} \end{cases} \quad (87)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej czas trwania wypychania źródła zasilania ($T_{x_n}^{WSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (88), (89), (90):

- krótki:

$$T_{x_n}^{WSP}(x_n^{T^{WSP}}; a_{x_n}^{T^{WSP}}, b_{x_n}^{T^{WSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^{WSP}} \leq a_{x_n}^{T^{WSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{T^{WSP}} - x_n^{T^{WSP}}}{b_{x_n}^{T^{WSP}} - a_{x_n}^{T^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{T^{WSP}} < x_n^{T^{WSP}} \leq b_{x_n}^{T^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{WSP}} > b_{x_n}^{T^{WSP}} \end{cases} \quad (88)$$

- średni:

$$T_{x_n}^{WSP}(x_n^{T^{WSP}}; a_{x_n}^{T^{WSP}}, b_{x_n}^{T^{WSP}}, c_{x_n}^{T^{WSP}}, d_{x_n}^{T^{WSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{T^{WSP}} \leq a_{x_n}^{T^{WSP}} \\ \frac{x_n^{T^{WSP}} - a_{x_n}^{T^{WSP}}}{b_{x_n}^{T^{WSP}} - a_{x_n}^{T^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{T^{WSP}} < x_n^{T^{WSP}} \leq b_{x_n}^{T^{WSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{T^{WSP}} < x_n^{T^{WSP}} \leq c_{x_n}^{T^{WSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{T^{WSP}} - x_n^{T^{WSP}}}{d_{x_n}^{T^{WSP}} - c_{x_n}^{T^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{T^{WSP}} < x_n^{T^{WSP}} \leq d_{x_n}^{T^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{WSP}} > d_{x_n}^{T^{WSP}} \end{cases} \quad (89)$$

- wysoki:

$$T_{x_n}^{WSP}(x_n^{T^{WSP}}; c_{x_n}^{T^{WSP}}, d_{x_n}^{T^{WSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^{WSP}} \leq c_{x_n}^{T^{WSP}} \\ \frac{x_n^{T^{WSP}} - c_{x_n}^{T^{WSP}}}{d_{x_n}^{T^{WSP}} - c_{x_n}^{T^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{T^{WSP}} < x_n^{T^{WSP}} \leq d_{x_n}^{T^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{WSP}} > d_{x_n}^{T^{WSP}} \end{cases} \quad (90)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{WSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (91), (92), (93):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{WSP} \left(x_n^{ZSP^{WSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{WSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{WSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} - x_n^{ZSP^{WSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{WSP}} < x_n^{ZSP^{WSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{WSP}} > b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \end{cases} \quad (91)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{WSP} \left(x_n^{ZSP^{WSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{WSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{WSP}}, c_{x_n}^{ZSP^{WSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{WSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{WSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{WSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{WSP}} < x_n^{ZSP^{WSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{WSP}} < x_n^{ZSP^{WSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} - x_n^{ZSP^{WSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{WSP}} < x_n^{ZSP^{WSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{WSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \end{cases} \quad (92)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{WSP} \left(x_n^{ZSP^{WSP}}; c_{x_n}^{ZSP^{WSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{WSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{WSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{WSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{WSP}} < x_n^{ZSP^{WSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{WSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{WSP}} \end{cases} \quad (93)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny wypychania statku powietrznego ($Ocena^{WSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (94), (95), (96):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{WSP} \left(x_n^{Ocena^{WSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{WSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{WSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} - x_n^{Ocena^{WSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{WSP}} < x_n^{Ocena^{WSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{WSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \end{cases} \quad (94)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{WSP} \left(x_n^{Ocena^{WSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{WSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{WSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{WSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{WSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{WSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{WSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{WSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{WSP}} < x_n^{Ocena^{WSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{WSP}} < x_n^{Ocena^{WSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} - x_n^{Ocena^{WSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{WSP}} < x_n^{Ocena^{WSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{WSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \end{cases} \quad (95)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{WSP} \left(x_n^{Ocena^{WSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{WSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{WSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{WSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{WSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{WSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{WSP}} < x_n^{Ocena^{WSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{WSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{WSP}} \end{cases} \quad (96)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu wypychania statku powietrznego ($Ocena^{WSP}$) przedstawia Załącznik 5. Reguły te zostały ustalone przez

ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (97).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (97)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Model oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego ($Ocena^{PiW}$) składa się z oceny podłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{PUON}$), oceny odłączania urządzeń obsługi naziemnej ($Ocena^{OUON}$) oraz oceny wypychania statku powietrznego ($Ocena^{WSP}$). Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej ocenę przygotowania i wypychania statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{PiW}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (98), (99), (100):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{PiW}(x_n^{Ocena^{PiW}}; a_{x_n}^{Ocena^{PiW}}, b_{x_n}^{Ocena^{PiW}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PiW}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{PiW}} - x_n^{Ocena^{PiW}}}{b_{x_n}^{Ocena^{PiW}} - a_{x_n}^{Ocena^{PiW}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{PiW}} < x_n^{Ocena^{PiW}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PiW}} > b_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \end{cases} \quad (98)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{PiW}(x_n^{Ocena^{PiW}}; a_{x_n}^{Ocena^{PiW}}, b_{x_n}^{Ocena^{PiW}}, c_{x_n}^{Ocena^{PiW}}, d_{x_n}^{Ocena^{PiW}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PiW}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{PiW}} - a_{x_n}^{Ocena^{PiW}}}{b_{x_n}^{Ocena^{PiW}} - a_{x_n}^{Ocena^{PiW}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{PiW}} < x_n^{Ocena^{PiW}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{PiW}} < x_n^{Ocena^{PiW}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{PiW}} - x_n^{Ocena^{PiW}}}{d_{x_n}^{Ocena^{PiW}} - c_{x_n}^{Ocena^{PiW}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{PiW}} < x_n^{Ocena^{PiW}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PiW}} > d_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \end{cases} \quad (99)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{PiW}(x_n^{Ocena^{PiW}}; c_{x_n}^{Ocena^{PiW}}, d_{x_n}^{Ocena^{PiW}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PiW}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{PiW}} - c_{x_n}^{Ocena^{PiW}}}{d_{x_n}^{Ocena^{PiW}} - c_{x_n}^{Ocena^{PiW}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{PiW}} < x_n^{Ocena^{PiW}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{PiW}} > d_{x_n}^{Ocena^{PiW}} \end{cases} \quad (100)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny przygotowania i wypychania statku powietrznego ($Ocena^{PiW}$) przedstawia Załącznik 6. Tabela 5.3 przedstawia zestawienie przykładowych reguł modelu oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego.

Tabela 5.3. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|--|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest niska) i ($Ocena^{OUON}$ jest niska) i ($Ocena^{WSP}$ jest niska) to ($Ocena^{PiW}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest niska) i ($Ocena^{OUON}$ jest niska) i ($Ocena^{WSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{PiW}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest niska) i ($Ocena^{OUON}$ jest niska) i ($Ocena^{WSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{PiW}$ jest niska) (1) |
| | ... |

| | |
|-----|---|
| 13 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest średnia) i ($Ocena^{OUON}$ jest średnia) i ($Ocena^{WSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{PiW}$ jest średnia) (1) |
| 14 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest średnia) i ($Ocena^{OUON}$ jest wysoka) i ($Ocena^{WSP}$ jest niska) to ($Ocena^{PiW}$ jest średnia) (1) |
| 16 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OUON}$ jest niska) i ($Ocena^{WSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{PiW}$ jest średnia) (1) |
| ... | |
| 25 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OUON}$ jest niska) i ($Ocena^{WSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{PiW}$ jest średnia) (1) |
| 26 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OUON}$ jest wysoka) i ($Ocena^{WSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{PiW}$ jest wysoka) (1) |
| 27 | Jeśli ($Ocena^{PUON}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OUON}$ jest wysoka) i ($Ocena^{WSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{PiW}$ powietrznego jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (101).

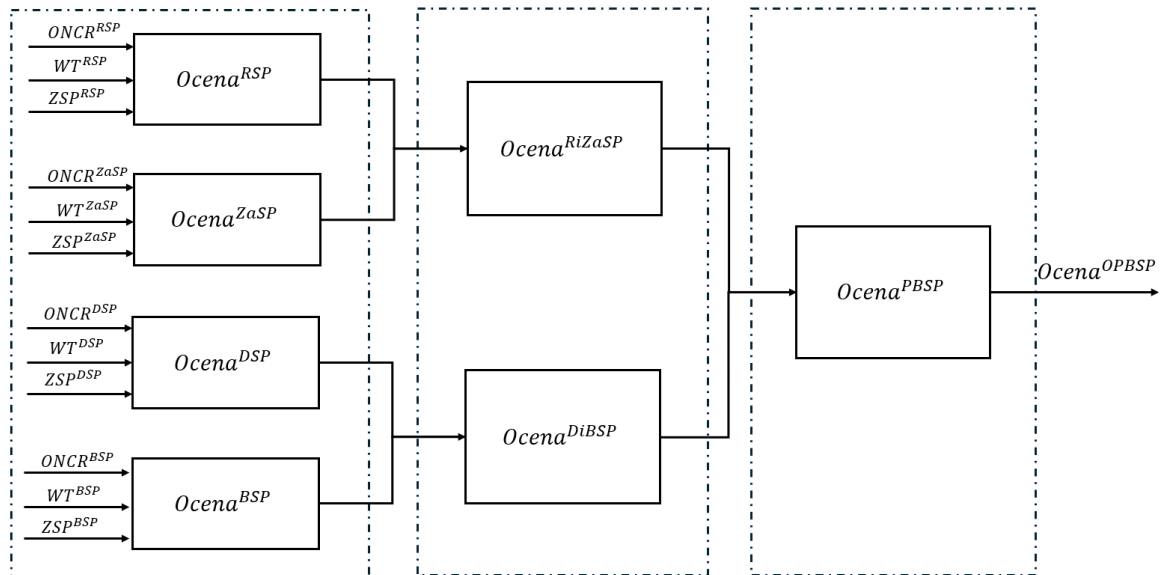
$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (101)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

5.3.1.3. Model oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej statku powietrznego

Model oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej statku powietrznego ($Ocena^{OPBSP}$), składa się z modelu oceny procesu załadunku i rozładunku statku powietrznego ($Ocena^{RiZaSP}$) oraz modelu oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego ($Ocena^{DiBSP}$). Rysunek 5.14 przedstawia strukturę modelu oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej statku powietrznego.



Rysunek 5.14. Struktura modelu oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej statku powietrznego.

Proces rozładunku statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje realizacja wyładunku luku statku powietrznego

z wykorzystaniem odpowiedniego sprzętu i personelu o wymaganych kwalifikacjach. Operacja rozładunku obejmuje m.in. otwarcie drzwi luku statku powietrznego, podstawienie i pozycjonowanie sprzętu obsługi naziemnej oraz fizyczne usunięcie bagaży z przestrzeni luku statku powietrznego. Ocena procesu rozładunku statku powietrznego ($Ocena^{RSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu rozładunku statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{RSP}$), wskaźniku czasu trwania procesu rozładunku ($WT_{x_n}^{RSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{RSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu rozładunku ($ONCR_{x_n}^{RSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (102), (103), (104):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{RSP}(x_n^{ONCR^{RSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{RSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{RSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{RSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{RSP}} - x_n^{ONCR^{RSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{RSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{RSP}} < x_n^{ONCR^{RSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{RSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \end{cases} \quad (102)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{RSP}(x_n^{ONCR^{RSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{RSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{RSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{RSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{RSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{RSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{RSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{RSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{RSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{RSP}} < x_n^{ONCR^{RSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{RSP}} < x_n^{ONCR^{RSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{RSP}} - x_n^{ONCR^{RSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{RSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{RSP}} < x_n^{ONCR^{RSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{RSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \end{cases} \quad (103)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{RSP}(x_n^{ONCR^{RSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{RSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{RSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{RSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{RSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{RSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{RSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{RSP}} < x_n^{ONCR^{RSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{RSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{RSP}} \end{cases} \quad (104)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania rozładunku statku powietrznego ($WT_{x_n}^{RSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (105), (106), (107):

- niski:

$$WT_{x_n}^{RSP}(x_n^{WT^{RSP}}; a_{x_n}^{WT^{RSP}}, b_{x_n}^{WT^{RSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{RSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^{RSP}} - x_n^{WT^{RSP}}}{b_{x_n}^{WT^{RSP}} - a_{x_n}^{WT^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{RSP}} < x_n^{WT^{RSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{RSP}} > b_{x_n}^{WT^{RSP}} \end{cases} \quad (105)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{RSP} \left(x_n^{WT^{RSP}}; a_{x_n}^{WT^{RSP}}, b_{x_n}^{WT^{RSP}}, c_{x_n}^{WT^{RSP}}, d_{x_n}^{WT^{RSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{RSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{RSP}} - a_{x_n}^{WT^{RSP}}}{b_{x_n}^{WT^{RSP}} - a_{x_n}^{WT^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{RSP}} < x_n^{WT^{RSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^{RSP}} < x_n^{WT^{RSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^{RSP}} - x_n^{WT^{RSP}}}{d_{x_n}^{WT^{RSP}} - c_{x_n}^{WT^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{RSP}} < x_n^{WT^{RSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{RSP}} > d_{x_n}^{WT^{RSP}} \end{cases} \quad (106)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{RSP} \left(x_n^{WT^{RSP}}; c_{x_n}^{WT^{RSP}}, d_{x_n}^{WT^{RSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{RSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{RSP}} - c_{x_n}^{WT^{RSP}}}{d_{x_n}^{WT^{RSP}} - c_{x_n}^{WT^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{RSP}} < x_n^{WT^{RSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{RSP}} > d_{x_n}^{WT^{RSP}} \end{cases} \quad (107)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{RSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (108), (109), (110):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{RSP} \left(x_n^{ZSP^{RSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{RSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{RSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} - x_n^{ZSP^{RSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{RSP}} < x_n^{ZSP^{RSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{RSP}} > b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \end{cases} \quad (108)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{RSP} \left(x_n^{ZSP^{RSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{RSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{RSP}}, c_{x_n}^{ZSP^{RSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{RSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{RSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{RSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{RSP}} < x_n^{ZSP^{RSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{RSP}} < x_n^{ZSP^{RSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} - x_n^{ZSP^{RSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{RSP}} < x_n^{ZSP^{RSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{RSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \end{cases} \quad (109)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{RSP} \left(x_n^{ZSP^{RSP}}; c_{x_n}^{ZSP^{RSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{RSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{RSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{RSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{RSP}} < x_n^{ZSP^{RSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{RSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{RSP}} \end{cases} \quad (110)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny rozładunku statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{RSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (111), (112), (113):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{RSP} \left(x_n^{Ocena^{RSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{RSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} - x_n^{Ocena^{RSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{RSP}} < x_n^{Ocena^{RSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \end{cases} \quad (111)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{RSP}(x_n^{Ocena^{RSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{RSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{RSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{RSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{RSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{RSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{RSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{RSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{RSP}} < x_n^{Ocena^{RSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{RSP}} < x_n^{Ocena^{RSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{RSP}} - x_n^{Ocena^{RSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{RSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{RSP}} < x_n^{Ocena^{RSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \end{cases} \quad (112)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{RSP}(x_n^{Ocena^{RSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{RSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{RSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{RSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{RSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{RSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{RSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{RSP}} < x_n^{Ocena^{RSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{RSP}} \end{cases} \quad (113)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny rozładunku statku powietrznego ($Ocena^{RSP}$) przedstawia Załącznik 7. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (114).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (114)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Proces załadunku statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje realizacja załadunku luku statku powietrznego z wykorzystaniem odpowiedniego sprzętu i personelu o wymaganych kwalifikacjach. Operacja załadunku obejmuje m.in. fizyczne umieszczenie bagaży w przestrzeni luku statku powietrznego, zamknięcie drzwi luku statku powietrznego oraz usunięcie sprzętu obsługi naziemnej.

Ocena procesu załadunku statku powietrznego ($Ocena^{ZaSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu załadunku statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{ZaSP}$), wskaźnika czasu trwania procesu załadunku ($WT_{x_n}^{ZaSP}$), oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{ZaSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu załadunku ($ONCR_{x_n}^{ZaSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (115), (116), (117):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{ZaSP}(x_n^{ONCR^{ZaSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{ZaSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}} - x_n^{ONCR^{ZaSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}} < x_n^{ONCR^{ZaSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{ZaSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{ZaSP}} \end{cases} \quad (115)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{ZaSP}(x_n^{ONCRZaSP}; a_{x_n}^{ONCRZaSP}, b_{x_n}^{ONCRZaSP}, c_{x_n}^{ONCRZaSP}, d_{x_n}^{ONCRZaSP}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCRZaSP} \leq a_{x_n}^{ONCRZaSP} \\ \frac{x_n^{ONCRZaSP} - a_{x_n}^{ONCRZaSP}}{b_{x_n}^{ONCRZaSP} - a_{x_n}^{ONCRZaSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCRZaSP} < x_n^{ONCRZaSP} \leq b_{x_n}^{ONCRZaSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCRZaSP} < x_n^{ONCRZaSP} \leq c_{x_n}^{ONCRZaSP} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCRZaSP} - x_n^{ONCRZaSP}}{d_{x_n}^{ONCRZaSP} - c_{x_n}^{ONCRZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCRZaSP} < x_n^{ONCRZaSP} \leq d_{x_n}^{ONCRZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCRZaSP} > d_{x_n}^{ONCRZaSP} \end{cases} \quad (116)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{ZaSP}(x_n^{ONCRZaSP}; c_{x_n}^{ONCRZaSP}, d_{x_n}^{ONCRZaSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCRZaSP} \leq c_{x_n}^{ONCRZaSP} \\ \frac{x_n^{ONCRZaSP} - c_{x_n}^{ONCRZaSP}}{d_{x_n}^{ONCRZaSP} - c_{x_n}^{ONCRZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCRZaSP} < x_n^{ONCRZaSP} \leq d_{x_n}^{ONCRZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCRZaSP} > d_{x_n}^{ONCRZaSP} \end{cases} \quad (117)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania załadunku statku powietrznego ($WT_{x_n}^{ZaSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (118), (119), (120):

- niski:

$$WT_{x_n}^{ZaSP}(x_n^{WTZaSP}; a_{x_n}^{WTZaSP}, b_{x_n}^{WTZaSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WTZaSP} \leq a_{x_n}^{WTZaSP} \\ \frac{b_{x_n}^{WTZaSP} - x_n^{WTZaSP}}{b_{x_n}^{WTZaSP} - a_{x_n}^{WTZaSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{WTZaSP} < x_n^{WTZaSP} \leq b_{x_n}^{WTZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WTZaSP} > b_{x_n}^{WTZaSP} \end{cases} \quad (118)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{ZaSP}(x_n^{WTZaSP}; a_{x_n}^{WTZaSP}, b_{x_n}^{WTZaSP}, c_{x_n}^{WTZaSP}, d_{x_n}^{WTZaSP}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WTZaSP} \leq a_{x_n}^{WTZaSP} \\ \frac{x_n^{WTZaSP} - a_{x_n}^{WTZaSP}}{b_{x_n}^{WTZaSP} - a_{x_n}^{WTZaSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{WTZaSP} < x_n^{WTZaSP} \leq b_{x_n}^{WTZaSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WTZaSP} < x_n^{WTZaSP} \leq c_{x_n}^{WTZaSP} \\ \frac{d_{x_n}^{WTZaSP} - x_n^{WTZaSP}}{d_{x_n}^{WTZaSP} - c_{x_n}^{WTZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{WTZaSP} < x_n^{WTZaSP} \leq d_{x_n}^{WTZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WTZaSP} > d_{x_n}^{WTZaSP} \end{cases} \quad (119)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{ZaSP}(x_n^{WTZaSP}; c_{x_n}^{WTZaSP}, d_{x_n}^{WTZaSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WTZaSP} \leq c_{x_n}^{WTZaSP} \\ \frac{x_n^{WTZaSP} - c_{x_n}^{WTZaSP}}{d_{x_n}^{WTZaSP} - c_{x_n}^{WTZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{WTZaSP} < x_n^{WTZaSP} \leq d_{x_n}^{WTZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WTZaSP} > d_{x_n}^{WTZaSP} \end{cases} \quad (120)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{ZaSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (121), (122), (123):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{ZaSP} \left(x_n^{ZSPZaSP}; a_{x_n}^{ZSPZaSP}, b_{x_n}^{ZSPZaSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSPZaSP} \leq a_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSPZaSP} - x_n^{ZSPZaSP}}{b_{x_n}^{ZSPZaSP} - a_{x_n}^{ZSPZaSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSPZaSP} < x_n^{ZSPZaSP} \leq b_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPZaSP} > b_{x_n}^{ZSPZaSP} \end{cases} \quad (121)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{ZaSP} \left(x_n^{ZSPZaSP}; a_{x_n}^{ZSPZaSP}, b_{x_n}^{ZSPZaSP}, c_{x_n}^{ZSPZaSP}, d_{x_n}^{ZSPZaSP} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSPZaSP} \leq a_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ \frac{x_n^{ZSPZaSP} - a_{x_n}^{ZSPZaSP}}{b_{x_n}^{ZSPZaSP} - a_{x_n}^{ZSPZaSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSPZaSP} < x_n^{ZSPZaSP} \leq b_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSPZaSP} < x_n^{ZSPZaSP} \leq c_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSPZaSP} - x_n^{ZSPZaSP}}{d_{x_n}^{ZSPZaSP} - c_{x_n}^{ZSPZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSPZaSP} < x_n^{ZSPZaSP} \leq d_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPZaSP} > d_{x_n}^{ZSPZaSP} \end{cases} \quad (122)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{ZaSP} \left(x_n^{ZSPZaSP}; c_{x_n}^{ZSPZaSP}, d_{x_n}^{ZSPZaSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSPZaSP} \leq c_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ \frac{x_n^{ZSPZaSP} - c_{x_n}^{ZSPZaSP}}{d_{x_n}^{ZSPZaSP} - c_{x_n}^{ZSPZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSPZaSP} < x_n^{ZSPZaSP} \leq d_{x_n}^{ZSPZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPZaSP} > d_{x_n}^{ZSPZaSP} \end{cases} \quad (123)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny załadunku statku powietrznego ($Ocena^{ZaSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (124), (125), (126):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{ZaSP} \left(x_n^{OcenaZaSP}; a_{x_n}^{OcenaZaSP}, b_{x_n}^{OcenaZaSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{OcenaZaSP} \leq a_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ \frac{b_{x_n}^{OcenaZaSP} - x_n^{OcenaZaSP}}{b_{x_n}^{OcenaZaSP} - a_{x_n}^{OcenaZaSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{OcenaZaSP} < x_n^{OcenaZaSP} \leq b_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{OcenaZaSP} > b_{x_n}^{OcenaZaSP} \end{cases} \quad (124)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{ZaSP} \left(x_n^{OcenaZaSP}; a_{x_n}^{OcenaZaSP}, b_{x_n}^{OcenaZaSP}, c_{x_n}^{OcenaZaSP}, d_{x_n}^{OcenaZaSP} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{OcenaZaSP} \leq a_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ \frac{x_n^{OcenaZaSP} - a_{x_n}^{OcenaZaSP}}{b_{x_n}^{OcenaZaSP} - a_{x_n}^{OcenaZaSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{OcenaZaSP} < x_n^{OcenaZaSP} \leq b_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{OcenaZaSP} < x_n^{OcenaZaSP} \leq c_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ \frac{d_{x_n}^{OcenaZaSP} - x_n^{OcenaZaSP}}{d_{x_n}^{OcenaZaSP} - c_{x_n}^{OcenaZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{OcenaZaSP} < x_n^{OcenaZaSP} \leq d_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{OcenaZaSP} > d_{x_n}^{OcenaZaSP} \end{cases} \quad (125)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{ZaSP} \left(x_n^{OcenaZaSP}; c_{x_n}^{OcenaZaSP}, d_{x_n}^{OcenaZaSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{OcenaZaSP} \leq c_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ \frac{x_n^{OcenaZaSP} - c_{x_n}^{OcenaZaSP}}{d_{x_n}^{OcenaZaSP} - c_{x_n}^{OcenaZaSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{OcenaZaSP} < x_n^{OcenaZaSP} \leq d_{x_n}^{OcenaZaSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{OcenaZaSP} > d_{x_n}^{OcenaZaSP} \end{cases} \quad (126)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu załadunku statku powietrznego ($Ocena^{ZaSP}$) przedstawia Załącznik 8. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej

realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (127).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (127)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Model oceny procesu rozładunku i załadunku statku powietrznego ($Ocena^{RiZaSP}$), składa się z oceny procesu rozładunku statku powietrznego ($Ocena^{RSP}$) oraz oceny procesu załadunku statku powietrznego ($Ocena^{ZaSP}$). Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej ocenę procesu rozładunku i załadunku statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{RiZaSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (128), (129), (130):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{RiZaSP}(x_n^{Ocena^{RiZaSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} - x_n^{Ocena^{RiZaSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} < x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RiZaSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \end{cases} \quad (128)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{RiZaSP}(x_n^{Ocena^{RiZaSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{RiZaSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} < x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} < x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} - x_n^{Ocena^{RiZaSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} < x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RiZaSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \end{cases} \quad (129)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{RiZaSP}(x_n^{Ocena^{RiZaSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{RiZaSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} < x_n^{Ocena^{RiZaSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{RiZaSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{RiZaSP}} \end{cases} \quad (130)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny rozładunku i załadunku statku powietrznego ($Ocena^{RiZaSP}$) przedstawia Załącznik 9. Tabela 5.4 przedstawia zestawienie reguł modelu oceny procesu rozładunku i załadunku statku powietrznego.

Tabela 5.4. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu rozładunku i załadunku statku powietrznego.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|--|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest niska) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest niska) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest niska) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest niska) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest średnia) (1) |
| 4 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest niska) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest niska) (1) |
| 5 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest średnia) (1) |
| 6 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest wysoka) (1) |
| 7 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest niska) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest średnia) (1) |
| 8 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest wysoka) (1) |
| 9 | Jeśli ($Ocena^{RSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{ZaSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{RiZaSP}$ jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (131).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (131)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Proces deboardingu statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje realizacja czynności związanych z opuszczaniem przez pasażerów statku powietrznego. Czynność ta wymaga wykorzystania odpowiedniego sprzętu i personelu o wymaganych kwalifikacjach. Operacja deboardingu obejmuje m.in. pozycjonowanie schodów lub rękawa lotniczego, otwieranie drzwi i opuszczanie przez pasażerów pokładu statku powietrznego. Ocena procesu deboardingu statku powietrznego ($Ocena^{DSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu deboardingu statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{DSP}$), wskaźniku czasu trwania procesu deboardingu ($WT_{x_n}^{DSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{DSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu deboardingu ($ONCR_{x_n}^{DSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (132), (133), (134):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{DSP}(x_n^{ONCR^{DSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{DSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{DSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{DSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{DSP}} - x_n^{ONCR^{DSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{DSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{DSP}} < x_n^{ONCR^{DSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{DSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \end{cases} \quad (132)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{DSP}(x_n^{ONCR^{DSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{DSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{DSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{DSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{DSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{DSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{DSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{DSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{DSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{DSP}} < x_n^{ONCR^{DSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{DSP}} < x_n^{ONCR^{DSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{DSP}} - x_n^{ONCR^{DSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{DSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{DSP}} < x_n^{ONCR^{DSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{DSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \end{cases} \quad (133)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{DSP}(x_n^{ONCR^{DSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{DSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{DSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{DSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{DSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{DSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{DSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{DSP}} < x_n^{ONCR^{DSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{DSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{DSP}} \end{cases} \quad (134)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej czas trwania deboardingu statku powietrznego ($WT_{x_n}^{DSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (135), (136), (137):

- niski:

$$WT_{x_n}^{DSP} \left(x_n^{WT^{DSP}}; a_{x_n}^{WT^{DSP}}, b_{x_n}^{WT^{DSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{DSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^{DSP}} - x_n^{WT^{DSP}}}{b_{x_n}^{WT^{DSP}} - a_{x_n}^{WT^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{DSP}} < x_n^{WT^{DSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{DSP}} > b_{x_n}^{WT^{DSP}} \end{cases} \quad (135)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{DSP} \left(x_n^{WT^{DSP}}; a_{x_n}^{WT^{DSP}}, b_{x_n}^{WT^{DSP}}, c_{x_n}^{WT^{DSP}}, d_{x_n}^{WT^{DSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{DSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{DSP}} - a_{x_n}^{WT^{DSP}}}{b_{x_n}^{WT^{DSP}} - a_{x_n}^{WT^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{DSP}} < x_n^{WT^{DSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^{DSP}} < x_n^{WT^{DSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^{DSP}} - x_n^{WT^{DSP}}}{d_{x_n}^{WT^{DSP}} - c_{x_n}^{WT^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{DSP}} < x_n^{WT^{DSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{DSP}} > d_{x_n}^{WT^{DSP}} \end{cases} \quad (136)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{DSP} \left(x_n^{WT^{DSP}}; c_{x_n}^{WT^{DSP}}, d_{x_n}^{WT^{DSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{DSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{DSP}} - c_{x_n}^{WT^{DSP}}}{d_{x_n}^{WT^{DSP}} - c_{x_n}^{WT^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{DSP}} < x_n^{WT^{DSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{DSP}} > d_{x_n}^{WT^{DSP}} \end{cases} \quad (137)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{DSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (138), (139), (140):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{DSP} \left(x_n^{ZSP^{DSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{DSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{DSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} - x_n^{ZSP^{DSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{DSP}} < x_n^{ZSP^{DSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{DSP}} > b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \end{cases} \quad (138)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{DSP} \left(x_n^{ZSP^{DSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{DSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{DSP}}, c_{x_n}^{ZSP^{DSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{DSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{DSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{DSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{DSP}} < x_n^{ZSP^{DSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{DSP}} < x_n^{ZSP^{DSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} - x_n^{ZSP^{DSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{DSP}} < x_n^{ZSP^{DSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{DSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \end{cases} \quad (139)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{DSP} \left(x_n^{ZSP^{DSP}}; c_{x_n}^{ZSP^{DSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{DSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{DSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{DSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{DSP}} < x_n^{ZSP^{DSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{DSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{DSP}} \end{cases} \quad (140)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny deboardingu statku powietrznego ($Ocena^{DSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (141), (142), (143):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{DSP}(x_n^{Ocena^{DSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{DSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{DSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{DSP}} - x_n^{Ocena^{DSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{DSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{DSP}} < x_n^{Ocena^{DSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \end{cases} \quad (141)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{DSP}(x_n^{Ocena^{DSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{DSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{DSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{DSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{DSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{DSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{DSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{DSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{DSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{DSP}} < x_n^{Ocena^{DSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{DSP}} < x_n^{Ocena^{DSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{DSP}} - x_n^{Ocena^{DSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{DSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{DSP}} < x_n^{Ocena^{DSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \end{cases} \quad (142)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{DSP}(x_n^{Ocena^{DSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{DSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{DSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{DSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{DSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{DSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{DSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{DSP}} < x_n^{Ocena^{DSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{DSP}} \end{cases} \quad (143)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu deboardingu statku powietrznego ($Ocena^{DSP}$) przedstawia Załącznik 10. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (144).

$$\bar{y} = \frac{\int_V^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_V^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (144)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Proces boardingu statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje realizacja czynności związanych z wsiadaniem pasażerów do statku powietrznego przed planowanym odlotem. Czynność ta wymaga wykorzystania odpowiedniego sprzętu i personelu o wymaganych kwalifikacjach. Operacja boardingu obejmuje m.in. wsiadanie pasażerów na pokład statku powietrznego, zamknięcie drzwi statku powietrznego oraz odłączenie urządzeń obsługi naziemnej. Ocena procesu boardingu statku powietrznego ($Ocena^{BSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu boardingu statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{BSP}$), wskaźniku czasu trwania procesu boardingu ($T_{x_n}^{BSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{BSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu boardingu ($ONCR_{x_n}^{BSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (145), (146), (147):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{BSP}(x_n^{ONCR^{BSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{BSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{BSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{BSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{BSP}} - x_n^{ONCR^{BSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{BSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{BSP}} < x_n^{ONCR^{BSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{BSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \end{cases} \quad (145)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{BSP}(x_n^{ONCR^{BSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{BSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{BSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{BSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{BSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{BSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{BSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{BSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{BSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{BSP}} < x_n^{ONCR^{BSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{BSP}} < x_n^{ONCR^{BSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{BSP}} - x_n^{ONCR^{BSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{BSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{BSP}} < x_n^{ONCR^{BSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{BSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \end{cases} \quad (146)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{BSP}(x_n^{ONCR^{BSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{BSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{BSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{BSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{BSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{BSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{BSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{BSP}} < x_n^{ONCR^{BSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{BSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{BSP}} \end{cases} \quad (147)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej czas trwania boardingu statku powietrznego ($WT_{x_n}^{BSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (148), (149), (150):

- niski:

$$WT_{x_n}^{BSP}(x_n^{WT^{BSP}}; a_{x_n}^{WT^{BSP}}, b_{x_n}^{WT^{BSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{BSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^{BSP}} - x_n^{WT^{BSP}}}{b_{x_n}^{WT^{BSP}} - a_{x_n}^{WT^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{BSP}} < x_n^{WT^{BSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{BSP}} > b_{x_n}^{WT^{BSP}} \end{cases} \quad (148)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{BSP}(x_n^{WT^{BSP}}; a_{x_n}^{WT^{BSP}}, b_{x_n}^{WT^{BSP}}, c_{x_n}^{WT^{BSP}}, d_{x_n}^{WT^{BSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{BSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{BSP}} - a_{x_n}^{WT^{BSP}}}{b_{x_n}^{WT^{BSP}} - a_{x_n}^{WT^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{BSP}} < x_n^{WT^{BSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^{BSP}} < x_n^{WT^{BSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^{BSP}} - x_n^{WT^{BSP}}}{d_{x_n}^{WT^{BSP}} - c_{x_n}^{WT^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{BSP}} < x_n^{WT^{BSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{BSP}} > d_{x_n}^{WT^{BSP}} \end{cases} \quad (149)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{BSP}(x_n^{WT^{BSP}}; c_{x_n}^{WT^{BSP}}, d_{x_n}^{WT^{BSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{BSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{BSP}} - c_{x_n}^{WT^{BSP}}}{d_{x_n}^{WT^{BSP}} - c_{x_n}^{WT^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{BSP}} < x_n^{WT^{BSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{BSP}} > d_{x_n}^{WT^{BSP}} \end{cases} \quad (150)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{BSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (151), (152), (153):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{BSP} \left(x_n^{ZSP^{BSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{BSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{BSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} - x_n^{ZSP^{BSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{BSP}} < x_n^{ZSP^{BSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{BSP}} > b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \end{cases} \quad (151)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{BSP} \left(x_n^{ZSP^{BSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{BSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{BSP}}, c_{x_n}^{ZSP^{BSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{BSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{BSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{BSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{BSP}} < x_n^{ZSP^{BSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{BSP}} < x_n^{ZSP^{BSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} - x_n^{ZSP^{BSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{BSP}} < x_n^{ZSP^{BSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{BSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \end{cases} \quad (152)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{BSP} \left(x_n^{ZSP^{BSP}}; c_{x_n}^{ZSP^{BSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{BSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{BSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{BSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{BSP}} < x_n^{ZSP^{BSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{BSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{BSP}} \end{cases} \quad (153)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny procesu boardingu statku powietrznego (Ocena^{BSP}) zdefiniowano za pomocą wzorów (154), (155), (156):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{BSP} \left(x_n^{Ocena^{BSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{BSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{BSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} - x_n^{Ocena^{BSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{BSP}} < x_n^{Ocena^{BSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{BSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \end{cases} \quad (154)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{BSP} \left(x_n^{Ocena^{BSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{BSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{BSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{BSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{BSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{BSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{BSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{BSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{BSP}} < x_n^{Ocena^{BSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{BSP}} < x_n^{Ocena^{BSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} - x_n^{Ocena^{BSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{BSP}} < x_n^{Ocena^{BSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{BSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \end{cases} \quad (155)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{BSP} \left(x_n^{Ocena^{BSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{BSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{BSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{BSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{BSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{BSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{BSP}} < x_n^{Ocena^{BSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{BSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{BSP}} \end{cases} \quad (156)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu boardingu statku powietrznego (Ocena^{BSP}) przedstawia Załącznik 11. Reguły te zostały ustalone przez

ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (157).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (157)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Model oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego ($Ocena^{DiBSP}$), składa się z oceny procesu deboardingu statku powietrznego ($Ocena^{DSP}$) oraz oceny procesu boardingu statku powietrznego ($Ocena^{BSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{DiBSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (158), (159), (160):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{DiBSP}(x_n^{Ocena^{DiBSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - x_n^{Ocena^{DiBSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} < x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DiBSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \end{cases} \quad (158)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{DiBSP}(x_n^{Ocena^{DiBSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{DiBSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} < x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - x_n^{Ocena^{DiBSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}} & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} < x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ 1 & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} < x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - x_n^{Ocena^{DiBSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} < x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DiBSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \end{cases} \quad (159)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{DiBSP}(x_n^{Ocena^{DiBSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{DiBSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} < x_n^{Ocena^{DiBSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{DiBSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{DiBSP}} \end{cases} \quad (160)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego ($Ocena^{DiBSP}$) przedstawia Załącznik 12. Tabela 5.5 przedstawia zestawienie reguł modelu oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego.

Tabela 5.5. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|--|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest niska) i ($Ocena^{BSP}$ jest niska) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest niska) i ($Ocena^{BSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest niska) i ($Ocena^{BSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest średnia) (1) |
| 4 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{BSP}$ jest niska) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest niska) (1) |
| 5 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{BSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest średnia) (1) |
| 6 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{BSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest wysoka) (1) |
| 7 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{BSP}$ jest niska) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest średnia) (1) |
| 8 | Jeśli ($Ocena^{DSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{BSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{DiBSP}$ jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (161).

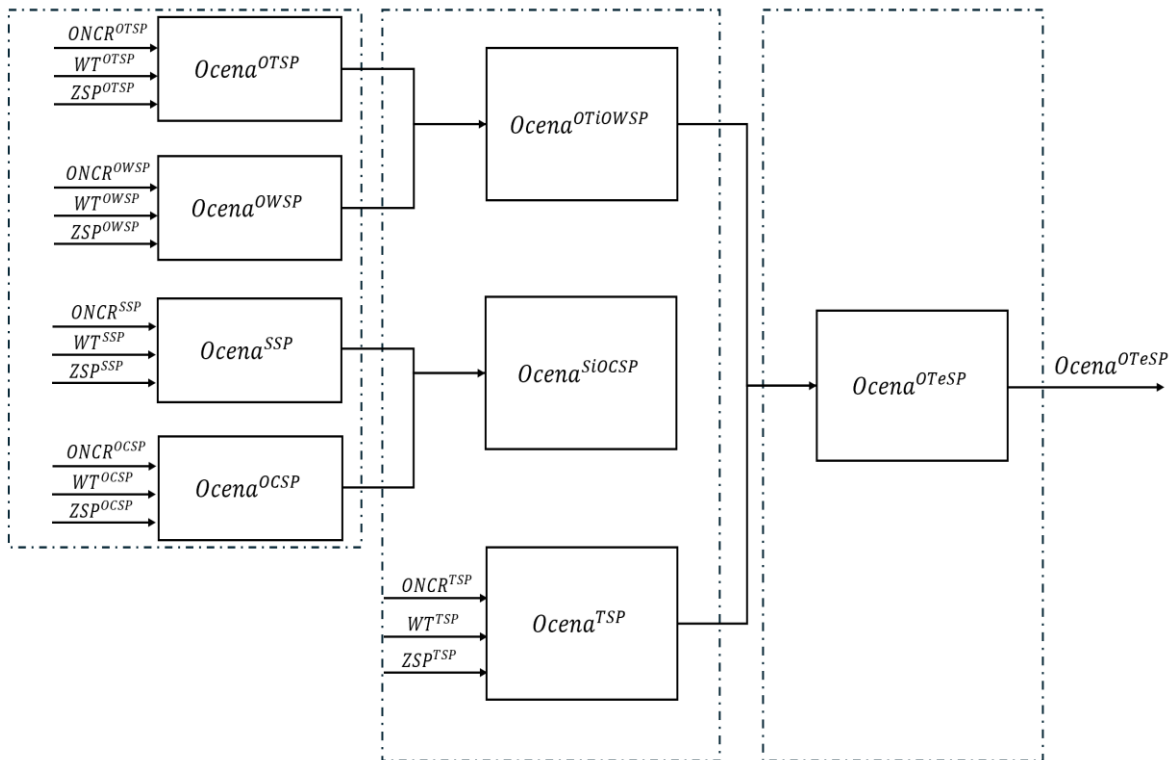
$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (161)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

5.3.1.4. Model oceny procesu obsługi technicznej statku powietrznego

Model oceny procesu technicznej statku powietrznego ($Ocena^{OTeP}$), składa się z modelu oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego ($Ocena^{OTiOWSP}$), modelu oceny procesu sprzątnania i obsługi cateringu statku powietrznego ($Ocena^{SiOCSP}$) oraz modelu oceny procesu tankowania statku powietrznego ($Ocena^{TSP}$). Rysunek 5.15 przedstawia strukturę modelu oceny procesu obsługi technicznej statku powietrznego.



Rysunek 5.15. Struktura modelu oceny procesu obsługi technicznej statku powietrznego.

Proces obsługi toalet statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje opróżnianie i przepłukiwanie zbiorników statku powietrznego z wykorzystaniem odpowiedniego sprzętu i personelu o wymaganych kwalifikacjach. Operacja obsługi toalet obejmuje m.in. podłączenie zbiornika pojazdu serwisowego do statku powietrznego, czyszczenie zbiornika i odłączanie statku powietrznego od pojazdu serwisowego. Ocena procesu obsługi toalet statku powietrznego ($Ocena^{OTSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu obsługi toalet statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{OTSP}$), wskaźniku

czasu trwania obsługi toalet ($WT_{x_n}^{OTSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OTSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu obsługi toalet ($ONCR_{x_n}^{OTSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (162), (163), (164):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{OTSP}(x_n^{ONCR^{OTSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} - x_n^{ONCR^{OTSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} < x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OTSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \end{cases} \quad (162)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{OTSP}(x_n^{ONCR^{OTSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OTSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} < x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} < x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} - x_n^{ONCR^{OTSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} < x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OTSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \end{cases} \quad (163)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{OTSP}(x_n^{ONCR^{OTSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OTSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} < x_n^{ONCR^{OTSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OTSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{OTSP}} \end{cases} \quad (164)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania obsługi toalet statku powietrznego ($WT_{x_n}^{OTSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (165), (166), (167):

- niski:

$$WT_{x_n}^{OTSP}(x_n^{WT^{OTSP}}; a_{x_n}^{WT^{OTSP}}, b_{x_n}^{WT^{OTSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{OTSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{OTSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^{OTSP}} - x_n^{WT^{OTSP}}}{b_{x_n}^{WT^{OTSP}} - a_{x_n}^{WT^{OTSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{OTSP}} < x_n^{WT^{OTSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{OTSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OTSP}} > b_{x_n}^{WT^{OTSP}} \end{cases} \quad (165)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{OTSP}(x_n^{WT^{OTSP}}; a_{x_n}^{WT^{OTSP}}, b_{x_n}^{WT^{OTSP}}, c_{x_n}^{WT^{OTSP}}, d_{x_n}^{WT^{OTSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OTSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{OTSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{OTSP}} - a_{x_n}^{WT^{OTSP}}}{b_{x_n}^{WT^{OTSP}} - a_{x_n}^{WT^{OTSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{OTSP}} < x_n^{WT^{OTSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{OTSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^{OTSP}} < x_n^{WT^{OTSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{OTSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^{OTSP}} - x_n^{WT^{OTSP}}}{d_{x_n}^{WT^{OTSP}} - c_{x_n}^{WT^{OTSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{OTSP}} < x_n^{WT^{OTSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{OTSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OTSP}} > d_{x_n}^{WT^{OTSP}} \end{cases} \quad (166)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{OTSP} \left(x_n^{WTOTSP}; c_{x_n}^{WTOTSP}, d_{x_n}^{WTOTSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WTOTSP} \leq c_{x_n}^{WTOTSP} \\ \frac{x_n^{WTOTSP} - c_{x_n}^{WTOTSP}}{d_{x_n}^{WTOTSP} - c_{x_n}^{WTOTSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{WTOTSP} < x_n^{WTOTSP} \leq d_{x_n}^{WTOTSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WTOTSP} > d_{x_n}^{WTOTSP} \end{cases} \quad (167)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OTSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (108), (109), (109):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{OTSP} \left(x_n^{ZSPOTSP}; a_{x_n}^{ZSPOTSP}, b_{x_n}^{ZSPOTSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSPOTSP} \leq a_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSPOTSP} - x_n^{ZSPOTSP}}{b_{x_n}^{ZSPOTSP} - a_{x_n}^{ZSPOTSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSPOTSP} < x_n^{ZSPOTSP} \leq b_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOTSP} > b_{x_n}^{ZSPOTSP} \end{cases} \quad (168)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{OTSP} \left(x_n^{ZSPOTSP}; a_{x_n}^{ZSPOTSP}, b_{x_n}^{ZSPOTSP}, c_{x_n}^{ZSPOTSP}, d_{x_n}^{ZSPOTSP} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOTSP} \leq a_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ \frac{x_n^{ZSPOTSP} - a_{x_n}^{ZSPOTSP}}{b_{x_n}^{ZSPOTSP} - a_{x_n}^{ZSPOTSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSPOTSP} < x_n^{ZSPOTSP} \leq b_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSPOTSP} < x_n^{ZSPOTSP} \leq c_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSPOTSP} - x_n^{ZSPOTSP}}{d_{x_n}^{ZSPOTSP} - c_{x_n}^{ZSPOTSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSPOTSP} < x_n^{ZSPOTSP} \leq d_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOTSP} > d_{x_n}^{ZSPOTSP} \end{cases} \quad (169)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{OTSP} \left(x_n^{ZSPOTSP}; c_{x_n}^{ZSPOTSP}, d_{x_n}^{ZSPOTSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSPOTSP} \leq c_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ \frac{x_n^{ZSPOTSP} - c_{x_n}^{ZSPOTSP}}{d_{x_n}^{ZSPOTSP} - c_{x_n}^{ZSPOTSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSPOTSP} < x_n^{ZSPOTSP} \leq d_{x_n}^{ZSPOTSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOTSP} > d_{x_n}^{ZSPOTSP} \end{cases} \quad (170)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny obsługi toalet statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{OTSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (171), (172), (173):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{OTSP} \left(x_n^{OcenaOTSP}; a_{x_n}^{OcenaOTSP}, b_{x_n}^{OcenaOTSP} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{OcenaOTSP} \leq a_{x_n}^{OcenaOTSP} \\ \frac{b_{x_n}^{OcenaOTSP} - x_n^{OcenaOTSP}}{b_{x_n}^{OcenaOTSP} - a_{x_n}^{OcenaOTSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{OcenaOTSP} < x_n^{OcenaOTSP} \leq b_{x_n}^{OcenaOTSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{OcenaOTSP} > b_{x_n}^{OcenaOTSP} \end{cases} \quad (171)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{OTSP} \left(x_n^{OcenaOTSP}; a_{x_n}^{OcenaOTSP}, b_{x_n}^{OcenaOTSP}, c_{x_n}^{OcenaOTSP}, d_{x_n}^{OcenaOTSP} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{OcenaOTSP} \leq a_{x_n}^{OcenaOTSP} \\ \frac{x_n^{OcenaOTSP} - a_{x_n}^{OcenaOTSP}}{b_{x_n}^{OcenaOTSP} - a_{x_n}^{OcenaOTSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{OcenaOTSP} < x_n^{OcenaOTSP} \leq b_{x_n}^{OcenaOTSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{OcenaOTSP} < x_n^{OcenaOTSP} \leq c_{x_n}^{OcenaOTSP} \\ \frac{d_{x_n}^{OcenaOTSP} - x_n^{OcenaOTSP}}{d_{x_n}^{OcenaOTSP} - c_{x_n}^{OcenaOTSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{OcenaOTSP} < x_n^{OcenaOTSP} \leq d_{x_n}^{OcenaOTSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{OcenaOTSP} > d_{x_n}^{OcenaOTSP} \end{cases} \quad (172)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{OTSP}(x_n^{Ocena^{OTSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{OTSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OTSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OTSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OTSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OTSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OTSP}} < x_n^{Ocena^{OTSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OTSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OTSP}} \end{cases} \quad (173)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny obsługi toalet statku powietrznego ($Ocena^{OTSP}$) przedstawia Załącznik 13. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (174).

$$\bar{y} = \frac{\int_V^a y \mu_B(x) dy}{\int_V^a \mu_B(x) dy} \quad (174)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Proces obsługi wody statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje napełnienie zbiorników statku powietrznego wodą. Procedura ta wymaga wykorzystania odpowiedniego sprzętu i personelu o wymaganych kwalifikacjach. Operacja obsługi wody obejmuje m.in. podłączenie zbiornika pojazdu serwisowego do statku powietrznego, napełnienie zbiornika i odłączanie statku powietrznego od pojazdu serwisowego. Ocena procesu obsługi wody statku powietrznego ($Ocena^{OWSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu obsługi wody statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{OWSP}$), wskaźniku czasu trwania obsługi wody ($WT_{x_n}^{OWSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OWSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu obsługi wody ($ONCR_{x_n}^{OWSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (175), (176), (177):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{OWSP}(x_n^{ONCR^{OWSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} - x_n^{ONCR^{OWSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} < x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OWSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \end{cases} \quad (175)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{OWSP}(x_n^{ONCR^{OWSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OWSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} < x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} < x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} - x_n^{ONCR^{OWSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} < x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OWSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \end{cases} \quad (176)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{OWSP}(x_n^{ONCR^{OWSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OWSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} < x_n^{ONCR^{OWSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OWSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{OWSP}} \end{cases} \quad (177)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania obsługi wody statku powietrznego ($WT_{x_n}^{OWSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (178), (179), (180):

- niski:

$$WT_{x_n}^{OWSP}(x_n^{WTOWSP}; a_{x_n}^{WTOWSP}, b_{x_n}^{WTOWSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WTOWSP} \leq a_{x_n}^{WTOWSP} \\ \frac{b_{x_n}^{WTOWSP} - x_n^{WTOWSP}}{b_{x_n}^{WTOWSP} - a_{x_n}^{WTOWSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{WTOWSP} < x_n^{WTOWSP} \leq b_{x_n}^{WTOWSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WTOWSP} > b_{x_n}^{WTOWSP} \end{cases} \quad (178)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{OWSP}(x_n^{WTOWSP}; a_{x_n}^{WTOWSP}, b_{x_n}^{WTOWSP}, c_{x_n}^{WTOWSP}, d_{x_n}^{WTOWSP}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WTOWSP} \leq a_{x_n}^{WTOWSP} \\ \frac{x_n^{WTOWSP} - a_{x_n}^{WTOWSP}}{b_{x_n}^{WTOWSP} - a_{x_n}^{WTOWSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{WTOWSP} < x_n^{WTOWSP} \leq b_{x_n}^{WTOWSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WTOWSP} < x_n^{WTOWSP} \leq c_{x_n}^{WTOWSP} \\ \frac{d_{x_n}^{WTOWSP} - x_n^{WTOWSP}}{d_{x_n}^{WTOWSP} - c_{x_n}^{WTOWSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{WTOWSP} < x_n^{WTOWSP} \leq d_{x_n}^{WTOWSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WTOWSP} > d_{x_n}^{WTOWSP} \end{cases} \quad (179)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{OWSP}(x_n^{WTOWSP}; c_{x_n}^{WTOWSP}, d_{x_n}^{WTOWSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WTOWSP} \leq c_{x_n}^{WTOWSP} \\ \frac{x_n^{WTOWSP} - c_{x_n}^{WTOWSP}}{d_{x_n}^{WTOWSP} - c_{x_n}^{WTOWSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{WTOWSP} < x_n^{WTOWSP} \leq d_{x_n}^{WTOWSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WTOWSP} > d_{x_n}^{WTOWSP} \end{cases} \quad (180)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OWSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (181), (182), (183):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{OWSP}(x_n^{ZSPOWSP}; a_{x_n}^{ZSPOWSP}, b_{x_n}^{ZSPOWSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSPOWSP} \leq a_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSPOWSP} - x_n^{ZSPOWSP}}{b_{x_n}^{ZSPOWSP} - a_{x_n}^{ZSPOWSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSPOWSP} < x_n^{ZSPOWSP} \leq b_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOWSP} > b_{x_n}^{ZSPOWSP} \end{cases} \quad (181)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{OWSP}(x_n^{ZSPOWSP}; a_{x_n}^{ZSPOWSP}, b_{x_n}^{ZSPOWSP}, c_{x_n}^{ZSPOWSP}, d_{x_n}^{ZSPOWSP}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOWSP} \leq a_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ \frac{x_n^{ZSPOWSP} - a_{x_n}^{ZSPOWSP}}{b_{x_n}^{ZSPOWSP} - a_{x_n}^{ZSPOWSP}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSPOWSP} < x_n^{ZSPOWSP} \leq b_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSPOWSP} < x_n^{ZSPOWSP} \leq c_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSPOWSP} - x_n^{ZSPOWSP}}{d_{x_n}^{ZSPOWSP} - c_{x_n}^{ZSPOWSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSPOWSP} < x_n^{ZSPOWSP} \leq d_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOWSP} > d_{x_n}^{ZSPOWSP} \end{cases} \quad (182)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{OWSP}(x_n^{ZSPOWSP}; c_{x_n}^{ZSPOWSP}, d_{x_n}^{ZSPOWSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSPOWSP} \leq c_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ \frac{x_n^{ZSPOWSP} - c_{x_n}^{ZSPOWSP}}{d_{x_n}^{ZSPOWSP} - c_{x_n}^{ZSPOWSP}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSPOWSP} < x_n^{ZSPOWSP} \leq d_{x_n}^{ZSPOWSP} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSPOWSP} > d_{x_n}^{ZSPOWSP} \end{cases} \quad (183)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny obsługi wody statku powietrznego ($Ocena^{OWSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (184), (185), (186):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{OWSP}(x_n^{Ocena^{OWSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} - x_n^{Ocena^{OWSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} < x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OWSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \end{cases} \quad (184)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{OWSP}(x_n^{Ocena^{OWSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OWSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} < x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} < x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} - x_n^{Ocena^{OWSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} < x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OWSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \end{cases} \quad (185)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{OWSP}(x_n^{Ocena^{OWSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OWSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} < x_n^{Ocena^{OWSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OWSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OWSP}} \end{cases} \quad (186)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny obsługi wody statku powietrznego ($Ocena^{OWSP}$) przedstawia Załącznik 14. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (187).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (187)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Model oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego ($Ocena^{OTiOWSP}$), składa się z oceny procesu obsługi toalet statku powietrznego ($Ocena^{OTSP}$) oraz oceny procesu obsługi wody statku powietrznego ($Ocena^{OWSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego ($Ocena^{OTiOWSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (188), (189), (190):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{OTiOWSP}(x_n^{Ocena^{OTiOWSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} - x_n^{Ocena^{OTiOWSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} < x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \end{cases} \quad (188)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{OTiOWSP} \left(x_n^{Ocena^{OTiOWSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \right)$$

$$\begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} < x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} < x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} - x_n^{Ocena^{OTiOWSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} < x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \end{cases} \quad (189)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{OTiOWSP} \left(x_n^{Ocena^{OTiOWSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \right)$$

$$\begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} < x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTiOWSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OTiOWSP}} \end{cases} \quad (190)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego ($Ocena^{OTiOWSP}$) przedstawia Załącznik 15. Tabela 5.6 przedstawia zestawienie reguł modelu oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego.

Tabela 5.6. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|--|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest niska) i ($Ocena^{OWSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest niska) i ($Ocena^{OWSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest niska) i ($Ocena^{OWSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest średnia) (1) |
| 4 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OWSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest niska) (1) |
| 5 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OWSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest średnia) (1) |
| 6 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OWSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest wysoka) (1) |
| 7 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OWSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest średnia) (1) |
| 8 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OWSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest wysoka) (1) |
| 9 | Jeśli ($Ocena^{OTSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OWSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (191).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (191)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Proces sprzątnięcia statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje usuwanie odpadów, czyszczenie kabiny statku powietrznego, sprzątnięcie toalet i odkurzanie. Ocena procesu sprzątnięcia statku powietrznego ($Ocena^{SSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu sprzątnięcia statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{SSP}$), wskaźniku czasu

trwania procesu sprzątania ($WT_{x_n}^{SSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{SSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu sprzątania ($ONCR_{x_n}^{SSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (192), (193), (194):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{SSP}(x_n^{ONCR^{SSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{SSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{SSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{SSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{SSP}} - x_n^{ONCR^{SSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{SSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{SSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{SSP}} < x_n^{ONCR^{SSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{SSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \end{cases} \quad (192)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{SSP}(x_n^{ONCR^{SSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{SSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{SSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{SSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{SSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{SSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{SSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{SSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{SSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{SSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{SSP}} < x_n^{ONCR^{SSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{SSP}} < x_n^{ONCR^{SSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{SSP}} - x_n^{ONCR^{SSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{SSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{SSP}} < x_n^{ONCR^{SSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{SSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \end{cases} \quad (193)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{SSP}(x_n^{ONCR^{SSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{SSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{SSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{SSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{SSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{SSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{SSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{SSP}} < x_n^{ONCR^{SSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{SSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \end{cases} \quad (194)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania sprzątania statku powietrznego ($WT_{x_n}^{SSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (195), (196), (197):

- krótki:

$$WT_{x_n}^{SSP}(x_n^{WT^{SSP}}; a_{x_n}^{WT^{SSP}}, b_{x_n}^{WT^{SSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{SSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^{SSP}} - x_n^{WT^{SSP}}}{b_{x_n}^{WT^{SSP}} - a_{x_n}^{WT^{SSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{SSP}} < x_n^{WT^{SSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{SSP}} > b_{x_n}^{WT^{SSP}} \end{cases} \quad (195)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{SSP}(x_n^{WT^{SSP}}; a_{x_n}^{WT^{OTSP}}, b_{x_n}^{WT^{SSP}}, c_{x_n}^{WT^{SSP}}, d_{x_n}^{WT^{SSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{SSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{SSP}} - a_{x_n}^{WT^{OTSP}}}{b_{x_n}^{WT^{SSP}} - a_{x_n}^{WT^{OTSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{SSP}} < x_n^{WT^{SSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^{SSP}} < x_n^{WT^{SSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^{SSP}} - x_n^{WT^{SSP}}}{d_{x_n}^{WT^{SSP}} - c_{x_n}^{WT^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{SSP}} < x_n^{WT^{SSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{SSP}} > d_{x_n}^{WT^{SSP}} \end{cases} \quad (196)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{SSP} \left(x_n^{WT^{SSP}}; c_{x_n}^{WT^{SSP}}, d_{x_n}^{WT^{SSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{SSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{SSP}} - c_{x_n}^{WT^{SSP}}}{d_{x_n}^{WT^{SSP}} - c_{x_n}^{WT^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{SSP}} < x_n^{WT^{SSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{SSP}} > d_{x_n}^{WT^{SSP}} \end{cases} \quad (197)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{SSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (198), (199), (200):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{SSP} \left(x_n^{ZSP^{SSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{SSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{SSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} - x_n^{ZSP^{SSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{SSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{SSP}} < x_n^{ZSP^{SSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{SSP}} > b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \end{cases} \quad (198)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{SSP} \left(x_n^{ZSP^{SSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{SSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{SSP}}, c_{x_n}^{ZSP^{SSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{SSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{SSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{SSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{SSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{SSP}} < x_n^{ZSP^{SSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{SSP}} < x_n^{ZSP^{SSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} - x_n^{ZSP^{SSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{SSP}} < x_n^{ZSP^{SSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{SSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \end{cases} \quad (199)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{SSP} \left(x_n^{ZSP^{SSP}}; c_{x_n}^{ZSP^{SSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{SSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{SSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{SSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{SSP}} < x_n^{ZSP^{SSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{SSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{SSP}} \end{cases} \quad (200)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny sprzątnia statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{SSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (201), (202), (203):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{SSP} \left(x_n^{Ocena^{SSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{SSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} - x_n^{Ocena^{SSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{SSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{SSP}} < x_n^{Ocena^{SSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \end{cases} \quad (201)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{SSP}(x_n^{Ocena^{SSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{SSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{SSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{SSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{SSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{SSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{SSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{SSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{SSP}} < x_n^{Ocena^{SSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{SSP}} < x_n^{Ocena^{SSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{SSP}} - x_n^{Ocena^{SSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{SSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{SSP}} < x_n^{Ocena^{SSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \end{cases} \quad (202)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{SSP}(x_n^{Ocena^{SSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{SSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{SSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{SSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{SSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{SSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{SSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{SSP}} < x_n^{Ocena^{SSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{SSP}} \end{cases} \quad (203)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny sprzątnia statku powietrznego ($Ocena^{SSP}$) przedstawia Załącznik 16. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (204).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (204)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Proces obsługi cateringowa statku powietrznego jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje dostarczanie, załadunek i uzupełnianie zaopatrzenia pokładu statku powietrznego w żywność, napoje oraz pozostałe wyposażenie cateringowe. Procedura ta wymaga zastosowania odpowiedniego sprzętu obsługi naziemnej. Ocena procesu obsługi cateringowej statku powietrznego ($Ocena^{OCSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu obsługi cateringowej statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{OCSP}$), wskaźniku czasu trwania procesu obsługi cateringowej ($WT_{x_n}^{OCSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OCSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu obsługi cateringowej ($ONCR_{x_n}^{OCSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (205), (206), (207):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{OCSP}(x_n^{ONCR^{OCSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} - x_n^{ONCR^{OCSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} < x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OCSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \end{cases} \quad (205)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{OCSP}(x_n^{ONCR^{OCSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OCSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} < x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} < x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} - x_n^{ONCR^{OCSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} < x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OCSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \end{cases} \quad (206)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{OCSP}(x_n^{ONCR^{SSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{SSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{SSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{OCSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} < x_n^{ONCR^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{OCSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{OCSP}} \end{cases} \quad (207)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania obsługi cateringowej statku powietrznego ($WT_{x_n}^{OCSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (208), (209), (210):

- krótki:

$$WT_{x_n}^{OCSP}(x_n^{WT^{OCSP}}; a_{x_n}^{WT^{OCSP}}, b_{x_n}^{WT^{OCSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^{OCSP}} - x_n^{WT^{OCSP}}}{b_{x_n}^{WT^{OCSP}} - a_{x_n}^{WT^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{OCSP}} < x_n^{WT^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OCSP}} > b_{x_n}^{WT^{OCSP}} \end{cases} \quad (208)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{OCSP}(x_n^{WT^{OCSP}}; a_{x_n}^{WT^{OCSP}}, b_{x_n}^{WT^{OCSP}}, c_{x_n}^{WT^{OCSP}}, d_{x_n}^{WT^{OCSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{OCSP}} - a_{x_n}^{WT^{OCSP}}}{b_{x_n}^{WT^{OCSP}} - a_{x_n}^{WT^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{OCSP}} < x_n^{WT^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^{OCSP}} < x_n^{WT^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^{OCSP}} - x_n^{WT^{OCSP}}}{d_{x_n}^{WT^{OCSP}} - c_{x_n}^{WT^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{OCSP}} < x_n^{WT^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OCSP}} > d_{x_n}^{WT^{OCSP}} \end{cases} \quad (209)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{OCSP}(x_n^{WT^{OCSP}}; c_{x_n}^{WT^{OCSP}}, d_{x_n}^{WT^{OCSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{OCSP}} - c_{x_n}^{WT^{OCSP}}}{d_{x_n}^{WT^{OCSP}} - c_{x_n}^{WT^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{OCSP}} < x_n^{WT^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{OCSP}} > d_{x_n}^{WT^{OCSP}} \end{cases} \quad (210)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{OCSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (211), (212), (213):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{OCSP} \left(x_n^{ZSP^{OCSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} - x_n^{ZSP^{OCSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} < x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OCSP}} > b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \end{cases} \quad (21)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{OCSP} \left(x_n^{ZSP^{OCSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}, c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{OCSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} < x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} < x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} - x_n^{ZSP^{OCSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} < x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OCSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \end{cases} \quad (22)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{OCSP} \left(x_n^{ZSP^{OCSP}}; c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{OCSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} < x_n^{ZSP^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{OCSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{OCSP}} \end{cases} \quad (23)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny obsługi toalet statku powietrznego ($Ocena^{OCSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (214), (215), (216):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{OCSP} \left(x_n^{Ocena^{OCSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} - x_n^{Ocena^{OCSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} < x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OCSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \end{cases} \quad (214)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{OCSP} \left(x_n^{Ocena^{OCSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \right) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OCSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} < x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} < x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} - x_n^{Ocena^{OCSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} < x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OCSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \end{cases} \quad (215)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{OCSP} \left(x_n^{Ocena^{OCSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \right) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OCSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} < x_n^{Ocena^{OCSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OCSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OCSP}} \end{cases} \quad (216)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu obsługi cateringu statku powietrznego ($Ocena^{OCSP}$) przedstawia Załącznik 17. Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej

realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (217).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (217)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Model oceny procesu sprzątnia i obsługi cateringu statku powietrznego ($Ocena^{SiOCSP}$), składa się z oceny procesu sprzątnia statku powietrznego ($Ocena^{SSP}$) oraz oceny procesu obsługi cateringu statku powietrznego ($Ocena^{OCSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej ocenę procesu sprzątnia i obsługi cateringu statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{SiOCSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (218), (219), (220):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{SiOCSP} \left(x_n^{Ocena^{SiOCSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \right) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} - x_n^{Ocena^{SiOCSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} < x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SiOCSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \end{cases} \quad (218)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{SiOCSP} \left(x_n^{Ocena^{SiOCSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \right) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{SiOCSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} < x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} < x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} - x_n^{Ocena^{SiOCSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} < x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SiOCSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \end{cases} \quad (219)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{SiOCSP} \left(x_n^{Ocena^{SiOCSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \right) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{SiOCSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} < x_n^{Ocena^{SiOCSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{SiOCSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{SiOCSP}} \end{cases} \quad (220)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu sprzątnia i obsługi cateringu statku powietrznego ($Ocena^{OTiOWSP}$) przedstawia Załącznik 15. Tabela 5.7 przedstawia zestawienie reguł modelu oceny procesu sprzątnia i obsługi cateringu statku powietrznego.

Tabela 5.7. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu sprzątnia i obsługi cateringu statku powietrznego.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|--|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest niska) i ($Ocena^{OCSP}$ jest niska) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest niska) i ($Ocena^{OCSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest niska) (1) |

| | |
|---|--|
| 3 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest niska) i ($Ocena^{OCSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest średnia) (1) |
| 4 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OCSP}$ jest niska) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest niska) (1) |
| 5 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OCSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest średnia) (1) |
| 6 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{OCSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest wysoka) (1) |
| 7 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OCSP}$ jest niska) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest średnia) (1) |
| 8 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OCSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest wysoka) (1) |
| 9 | Jeśli ($Ocena^{SSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{OCSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{SiOCSP}$ jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (221).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (221)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Model oceny procesu tankowania statku powietrznego ($Ocena^{TSP}$) jest realizowany po przylocie statku powietrznego, w ramach którego następuje przekazywanie paliwa do zbiorników statku powietrznego z wykorzystaniem odpowiedniego sprzętu i personelu o wymaganych kwalifikacjach. Operacja procesu tankowania statku powietrznego obejmuje m.in. przygotowanie instalacji zasilającej statek powietrzny w paliwo, podłączenie urządzeń obsługowych do statku powietrznego, realizacja procesu przekazywania paliwa i bezpieczne odłączenie urządzeń obsługowych. Ocena procesu tankowania statku powietrznego ($Ocena^{TSP}$) opiera się na trzech zmiennych: odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia procesu tankowania statku powietrznego ($ONCR_{x_n}^{TSP}$), wskaźniku czasu trwania procesu tankowania ($WT_{x_n}^{TSP}$) oraz odchyleniu chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{TSP}$).

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie od najwcześniejszej dopuszczalnej chwili rozpoczęcia procesu tankowania ($ONCR_{x_n}^{TSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (222), (223), (224):

- niskie:

$$ONCR_{x_n}^{TSP}(x_n^{ONCR^{TSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{TSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{TSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ONCR^{TSP}} - x_n^{ONCR^{TSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{TSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{TSP}} < x_n^{ONCR^{TSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{TSP}} > b_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \end{cases} \quad (222)$$

- średnie:

$$ONCR_{x_n}^{TSP}(x_n^{ONCR^{TSP}}; a_{x_n}^{ONCR^{TSP}}, b_{x_n}^{ONCR^{TSP}}, c_{x_n}^{ONCR^{TSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{TSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{TSP}} \leq a_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{TSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{TSP}}}{b_{x_n}^{ONCR^{TSP}} - a_{x_n}^{ONCR^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ONCR^{TSP}} < x_n^{ONCR^{TSP}} \leq b_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ONCR^{TSP}} < x_n^{ONCR^{TSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ONCR^{TSP}} - x_n^{ONCR^{TSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{TSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{TSP}} < x_n^{ONCR^{TSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{TSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \end{cases} \quad (223)$$

- wysokie:

$$ONCR_{x_n}^{TSP}(x_n^{ONCR^{TSP}}; c_{x_n}^{ONCR^{TSP}}, d_{x_n}^{ONCR^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^{TSP}} \leq c_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ \frac{x_n^{ONCR^{TSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{TSP}}}{d_{x_n}^{ONCR^{TSP}} - c_{x_n}^{ONCR^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ONCR^{TSP}} < x_n^{ONCR^{TSP}} \leq d_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^{TSP}} > d_{x_n}^{ONCR^{TSP}} \end{cases} \quad (224)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej wskaźnik czasu trwania tankowania statku powietrznego ($WT_{x_n}^{TSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (225), (226), (227):

- niski:

$$WT_{x_n}^{TSP}(x_n^{WT^{TSP}}; a_{x_n}^{WT^{TSP}}, b_{x_n}^{WT^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{TSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{WT^{TSP}} - x_n^{WT^{TSP}}}{b_{x_n}^{WT^{TSP}} - a_{x_n}^{WT^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{TSP}} < x_n^{WT^{TSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{TSP}} > b_{x_n}^{WT^{TSP}} \end{cases} \quad (225)$$

- średni:

$$WT_{x_n}^{TSP}(x_n^{WT^{TSP}}; a_{x_n}^{WT^{TSP}}, b_{x_n}^{WT^{TSP}}, c_{x_n}^{WT^{TSP}}, d_{x_n}^{WT^{TSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^{TSP}} \leq a_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{TSP}} - a_{x_n}^{WT^{TSP}}}{b_{x_n}^{WT^{TSP}} - a_{x_n}^{WT^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{WT^{TSP}} < x_n^{WT^{TSP}} \leq b_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{WT^{TSP}} < x_n^{WT^{TSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{WT^{TSP}} - x_n^{WT^{TSP}}}{d_{x_n}^{WT^{TSP}} - c_{x_n}^{WT^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{TSP}} < x_n^{WT^{TSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{TSP}} > d_{x_n}^{WT^{TSP}} \end{cases} \quad (226)$$

- wysoki:

$$WT_{x_n}^{TSP}(x_n^{WT^{TSP}}; c_{x_n}^{WT^{TSP}}, d_{x_n}^{WT^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^{TSP}} \leq c_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ \frac{x_n^{WT^{TSP}} - c_{x_n}^{WT^{TSP}}}{d_{x_n}^{WT^{TSP}} - c_{x_n}^{WT^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{WT^{TSP}} < x_n^{WT^{TSP}} \leq d_{x_n}^{WT^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^{TSP}} > d_{x_n}^{WT^{TSP}} \end{cases} \quad (227)$$

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej odchylenie chwili zatrzymania statku powietrznego względem harmonogramu ($ZSP_{x_n}^{TSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (228), (229), (230):

- przed czasem:

$$ZSP_{x_n}^{TSP}(x_n^{ZSP^{TSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{TSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{TSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{ZSP^{TSP}} - x_n^{ZSP^{TSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{TSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{TSP}} < x_n^{ZSP^{TSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{TSP}} > b_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \end{cases} \quad (228)$$

- punktualnie:

$$ZSP_{x_n}^{TSP}(x_n^{ZSP^{TSP}}; a_{x_n}^{ZSP^{TSP}}, b_{x_n}^{ZSP^{TSP}}, c_{x_n}^{ZSP^{TSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{TSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{TSP}} \leq a_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{TSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{TSP}}}{b_{x_n}^{ZSP^{TSP}} - a_{x_n}^{ZSP^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{ZSP^{TSP}} < x_n^{ZSP^{TSP}} \leq b_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{ZSP^{TSP}} < x_n^{ZSP^{TSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{ZSP^{TSP}} - x_n^{ZSP^{TSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{TSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{TSP}} < x_n^{ZSP^{TSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{TSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \end{cases} \quad (229)$$

- opóźnienie:

$$ZSP_{x_n}^{TSP}(x_n^{ZSP^{TSP}}; c_{x_n}^{ZSP^{TSP}}, d_{x_n}^{ZSP^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^{TSP}} \leq c_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ \frac{x_n^{ZSP^{TSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{TSP}}}{d_{x_n}^{ZSP^{TSP}} - c_{x_n}^{ZSP^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{ZSP^{TSP}} < x_n^{ZSP^{TSP}} \leq d_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^{TSP}} > d_{x_n}^{ZSP^{TSP}} \end{cases} \quad (230)$$

Granice funkcję przynależności dla modelu oceny procesu tankowania statku powietrznego ($Ocena^{TSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (231), (232), (233):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{TSP}(x_n^{Ocena^{TSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{TSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{TSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{TSP}} - x_n^{Ocena^{TSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{TSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{TSP}} < x_n^{Ocena^{TSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{TSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \end{cases} \quad (231)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{TSP}(x_n^{Ocena^{TSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{TSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{TSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{TSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{TSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{TSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{TSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{TSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{TSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{TSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{TSP}} < x_n^{Ocena^{TSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{TSP}} < x_n^{Ocena^{TSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{TSP}} - x_n^{Ocena^{TSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{TSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{TSP}} < x_n^{Ocena^{TSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{TSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \end{cases} \quad (232)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{TSP}(x_n^{Ocena^{TSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{TSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{TSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{TSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{TSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{TSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{TSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{TSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{TSP}} < x_n^{Ocena^{TSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{TSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{TSP}} \end{cases} \quad (233)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny procesu tankowania statku powietrznego ($Ocena^{TSP}$) przedstawia Załącznik 19. Tabela 5.8 przedstawia zestawienie przykładowych reguł modelu oceny procesu tankowania statku powietrznego.

Tabela 5.8. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu tankowania statku powietrznego.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|---|
| 1 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest niskie) i (WT^{TSP} jest niski) i (ZSP^{TSP} jest przed czasem) to ($Ocena^{TSP}$ jest wysoka) (1) |
| 2 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest niskie) i (WT^{TSP} jest niski) i (ZSP^{TSP} jest punktualnie) to ($Ocena^{TSP}$ jest wysoka) (1) |

| | |
|-----|---|
| 3 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest niska) i (WT^{TSP} jest niskie) i (ZSP^{TSP} jest opóźnienie) to ($Ocena^{TSP}$ jest wysoka) (1) |
| ... | |
| 14 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest średnie) i (WT^{TSP} jest średni) i (ZSP^{TSP} jest punktualnie) t to ($Ocena^{TSP}$ jest średnia) (1) |
| 15 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest średnie) i (WT^{TSP} jest średni) i (ZSP^{TSP} jest opóźnienie) to ($Ocena^{TSP}$ jest średnie) (1) |
| 16 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest średnie) i (WT^{TSP} jest wysoki) i (ZSP^{TSP} jest przed czasem) to ($Ocena^{TSP}$ jest średnia) (1) |
| ... | |
| 25 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest wysokie) i (WT^{TSP} jest wysoki) i (ZSP^{TSP} jest przed czasem) to ($Ocena^{TSP}$ jest niska) (1) |
| 26 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest wysokie) i (WT^{TSP} jest wysoki) i (ZSP^{TSP} jest punktualnie) to ($Ocena^{TSP}$ jest niska) (1) |
| 27 | Jeśli ($ONCR^{TSP}$ jest wysokie) i (WT^{TSP} jest wysoki) i (ZSP^{TSP} jest opóźnienie) to ($Ocena^{TSP}$ powietrznego jest niska) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (234).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (234)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej ocenę techniczną statku powietrznego ($Ocena_{x_n}^{TeSP}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (235), (236), (237):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{OTeSP}(x_n^{Ocena^{OTeSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} - x_n^{Ocena^{OTeSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} < x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTeSP}} > b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \end{cases} \quad (235)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{OTeSP}(x_n^{Ocena^{OTeSP}}; a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}, b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}, c_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OTeSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} - a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} < x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} < x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{TeSP}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} - x_n^{Ocena^{OTeSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{TeSP}} < x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTeSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \end{cases} \quad (236)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{OTeSP}(x_n^{Ocena^{OTeSP}}; c_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}, d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OTeSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} - c_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} < x_n^{Ocena^{OTeSP}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OTeSP}} > d_{x_n}^{Ocena^{OTeSP}} \end{cases} \quad (237)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny technicznej procesu obsługi statku powietrznego ($Ocena^{TeSP}$) przedstawia Załącznik 21. Tabela 5.9 przedstawia

zestawienie przykładowych reguł modelu oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego.

Tabela 5.9. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny obsługi technicznej statku powietrznego.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|--|
| 1 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest niska) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest niska) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest niska) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest niska) i ($Ocena^{TSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest niska) (1) |
| ... | |
| 14 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{TSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest średnia) (1) |
| 15 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{TSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest średnia) (1) |
| 16 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest średnia) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{TSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest średnia) (1) |
| ... | |
| 25 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{TSP}$ jest niska) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest średnia) (1) |
| 26 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{TSP}$ jest średnia) to ($Ocena^{OTeSP}$ jest wysoka) (1) |
| 27 | Jeśli ($Ocena^{OTiOWSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{SiOCSP}$ jest wysoka) i ($Ocena^{TSP}$ jest wysoka) to ($Ocena^{OTeSP}$ powietrznego jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającej na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (238).

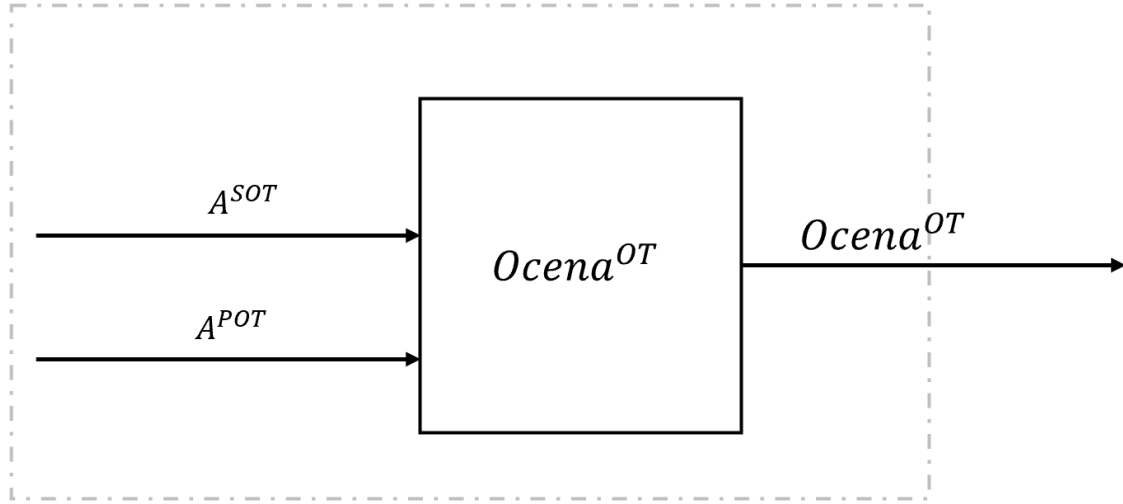
$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (238)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

5.3.2. STRUKTURA MODELU OCENY TAKTYCZNEJ PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZYM

Rysunek 5.16 przedstawia strukturę modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.



Rysunek 5.16. Struktura modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

Ocena taktyczna polega na ocenie gotowości technicznej (A^{SOT}) i gotowości personelu (A^{POT}). Szczegółowe informacje w zakresie zmiennych wejściowych do oceny taktycznej wskazano w rozdziale 5.2.5.

Granice funkcję przynależności dla zmiennej opisującej ocenę taktyczną procesu obsługi naziemnej statków powietrznych ($Ocena_{x_n}^{OT}$) zdefiniowano za pomocą wzorów (239), (240), (241):

- niska:

$$Ocena_{x_n}^{OT}(x_n^{Ocena^{OT}}; a_{x_n}^{Ocena^{OT}}, b_{x_n}^{Ocena^{OT}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OT}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ \frac{b_{x_n}^{Ocena^{OT}} - x_n^{Ocena^{OT}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OT}} - a_{x_n}^{Ocena^{OT}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OT}} < x_n^{Ocena^{OT}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OT}} > b_{x_n}^{Ocena^{OT}} \end{cases} \quad (239)$$

- średnia:

$$Ocena_{x_n}^{OT}(x_n^{Ocena^{OT}}; a_{x_n}^{Ocena^{OT}}, b_{x_n}^{Ocena^{OT}}, c_{x_n}^{Ocena^{OT}}, d_{x_n}^{Ocena^{OT}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OT}} \leq a_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OT}} - a_{x_n}^{Ocena^{OT}}}{b_{x_n}^{Ocena^{OT}} - a_{x_n}^{Ocena^{OT}}} & \text{dla } a_{x_n}^{Ocena^{OT}} < x_n^{Ocena^{OT}} \leq b_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ 1 & \text{dla } b_{x_n}^{Ocena^{OT}} < x_n^{Ocena^{OT}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ \frac{d_{x_n}^{Ocena^{OT}} - x_n^{Ocena^{OT}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OT}} - c_{x_n}^{Ocena^{OT}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OT}} < x_n^{Ocena^{OT}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OT}} > d_{x_n}^{Ocena^{OT}} \end{cases} \quad (240)$$

- wysoka:

$$Ocena_{x_n}^{OT}(x_n^{Ocena^{OT}}; c_{x_n}^{Ocena^{OT}}, d_{x_n}^{Ocena^{OT}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OT}} \leq c_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ \frac{x_n^{Ocena^{OT}} - c_{x_n}^{Ocena^{OT}}}{d_{x_n}^{Ocena^{OT}} - c_{x_n}^{Ocena^{OT}}} & \text{dla } c_{x_n}^{Ocena^{OT}} < x_n^{Ocena^{OT}} \leq d_{x_n}^{Ocena^{OT}} \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^{OT}} > d_{x_n}^{Ocena^{OT}} \end{cases} \quad (241)$$

Rozmyte reguły wnioskowania służące do wyznaczenia oceny taktycznej ($Ocena^{OT}$) przedstawia Załącznik 22. Tabela 5.10 przedstawia zestawienie przykładowych reguł

modelu oceny taktycznej systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statku powietrznego.

Tabela 5.10. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

| Lp. | Reguły wnioskowania rozmytego |
|-----|---|
| 1 | Jeśli (A^{SOT} jest niska) i (A^{POT} jest niska) to ($Ocena^{OT}$ jest niska) (1) |
| 2 | Jeśli (A^{SOT} jest niska) i (A^{POT} jest średnia) to ($Ocena^{OT}$ jest niska) (1) |
| 3 | Jeśli (A^{SOT} jest niska) i (A^{POT} jest wysoka) to ($Ocena^{OT}$ jest średnia) (1) |
| 4 | Jeśli (A^{SOT} jest średnia) i (A^{POT} jest niska) to ($Ocena^{OT}$ jest niska) (1) |
| 5 | Jeśli (A^{SOT} jest średnia) i (A^{POT} jest średnia) to ($Ocena^{OT}$ jest średnia) (1) |
| 6 | Jeśli (A^{SOT} jest średnia) i (A^{POT} jest wysoka) to ($Ocena^{OT}$ jest wysoka) (1) |
| 7 | Jeśli (A^{SOT} jest wysoka) i (A^{POT} jest niska) to ($Ocena^{OT}$ jest średnia) (1) |
| 8 | Jeśli (A^{SOT} jest wysoka) i (A^{POT} jest średnia) to ($Ocena^{OT}$ jest wysoka) (1) |
| 9 | Jeśli (A^{SOT} jest wysoka) i (A^{POT} jest wysoka) to ($Ocena^{OT}$ jest wysoka) (1) |

Reguły te zostały ustalone przez ekspertów zgodnie z zasadami kombinatoryki. Wyznaczenie wartości wyjściowej realizowane jest z wykorzystaniem metody środka ciężkości, pozwalającą na dokładną defuzyfikację wyniku i uzyskanie oceny. Ostra wartość \bar{y} jest wyznaczona z wzoru (242).

$$\bar{y} = \frac{\int_Y^a y \mu_B \cdot (x) dy}{\int_Y^a \mu_B \cdot (x) dy} \quad (242)$$

gdzie:

B – zbiór wyjściowy.

6. WERYFIKACJA MODELU OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZYM

Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym ma na celu potwierdzenie poprawności przyjętych założeń. Proces weryfikacji obejmuje analizę zmiennych wejściowych oraz ocen generowanych przez model. Uzyskane wyniki z modelu zostaną porównane z ocenami ekspertów.

6.1. WYZNACZENIE GRANIC FUNKCJI PRZYNALEŻNOŚCI

Granice funkcji przynależności dla zmiennej wyjściowej – odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i-tej czynności ($ONCR^i$) – określono na podstawie opinii 10 ekspertów (Tabela 6.1), wszystkich aktywnie zaangażowanych w proces obsługi naziemnej statku powietrznego.

Tabela 6.1. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i-tej czynności.

| | niskie [min] | średnie [min] | wysokie [min] |
|-----------|--------------|---------------|---------------|
| Ekspert 1 | -6.0 | -1.0 | 4.0 |
| Ekspert 2 | -4.0 | 0.0 | 4.0 |
| Ekspert 3 | -5.0 | -2.0 | 5.0 |
| Ekspert 4 | -5.0 | 2.0 | 6.0 |
| Ekspert 5 | -4.0 | 2.0 | 5.0 |
| Ekspert 6 | -8.0 | -2.0 | 8.0 |
| Ekspert 7 | -5.0 | 0.0 | 5.0 |

| | | | |
|------------|------|------|-----|
| Ekspert 8 | -6.0 | -1.0 | 4.0 |
| Ekspert 9 | -6.0 | -1.0 | 6.0 |
| Ekspert 10 | -6.0 | 0.0 | 6.0 |

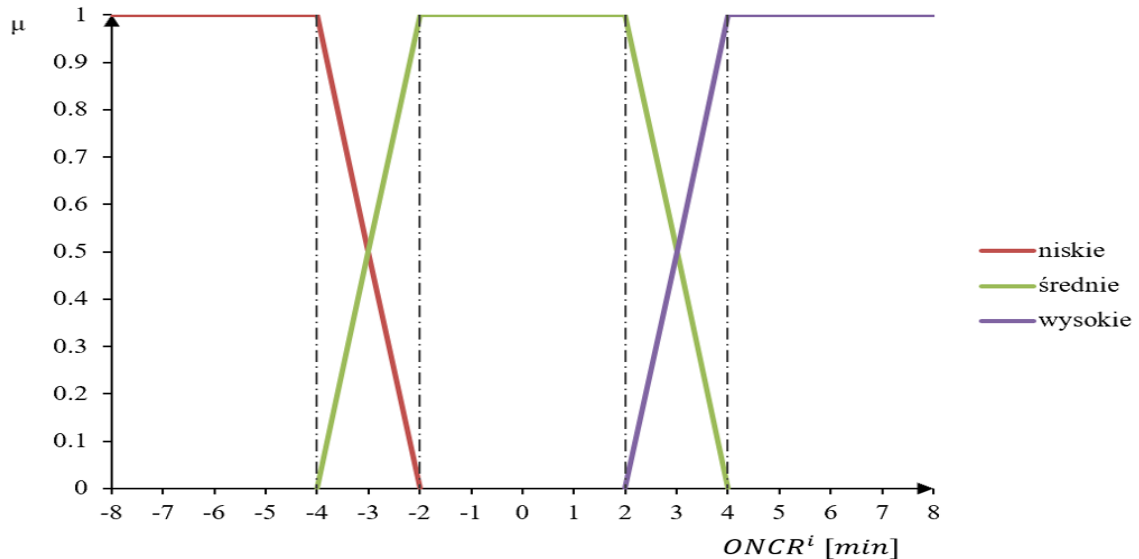
Na podstawie zgromadzonych danych opracowano charakterystykę zmiennej $ONCR^i$. W tym celu wyodrębniono trzy poziomy oceny: niskie (243), średnie (244), wysokie (245).

$$ONCR_{x_n, \text{niskie}}^i(x_n^{ONCR^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} \leq -4 \\ \frac{-2 - x_n^{ONCR^i}}{2} & \text{dla } -4 < x_n^{ONCR^i} \leq -2 \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} > -2 \end{cases} \quad (243)$$

$$ONCR_{x_n, \text{średnie}}^i(x_n^{ONCR^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} \leq -4 \\ \frac{x_n^{ONCR^i} + 4}{2} & \text{dla } -4 < x_n^{ONCR^i} \leq -2 \\ 1 & \text{dla } -2 < x_n^{ONCR^i} \leq 2 \\ \frac{4 - x_n^{ONCR^i}}{2} & \text{dla } 2 < x_n^{ONCR^i} \leq 4 \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} > 4 \end{cases} \quad (244)$$

$$ONCR_{x_n, \text{wysokie}}^i(x_n^{ONCR^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} \leq 2 \\ \frac{x_n^{ONCR^i} - 2}{2} & \text{dla } 2 < x_n^{ONCR^i} \leq 4 \\ 0 & \text{dla } x_n^{ONCR^i} > 4 \end{cases} \quad (245)$$

Rysunek 6.1 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom. Wierzchołki tych funkcji wyznaczają punkty, dla których stopień przynależności do danego zbioru osiąga wartość maksymalną.



Rysunek 6.1. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i-tej czynności.

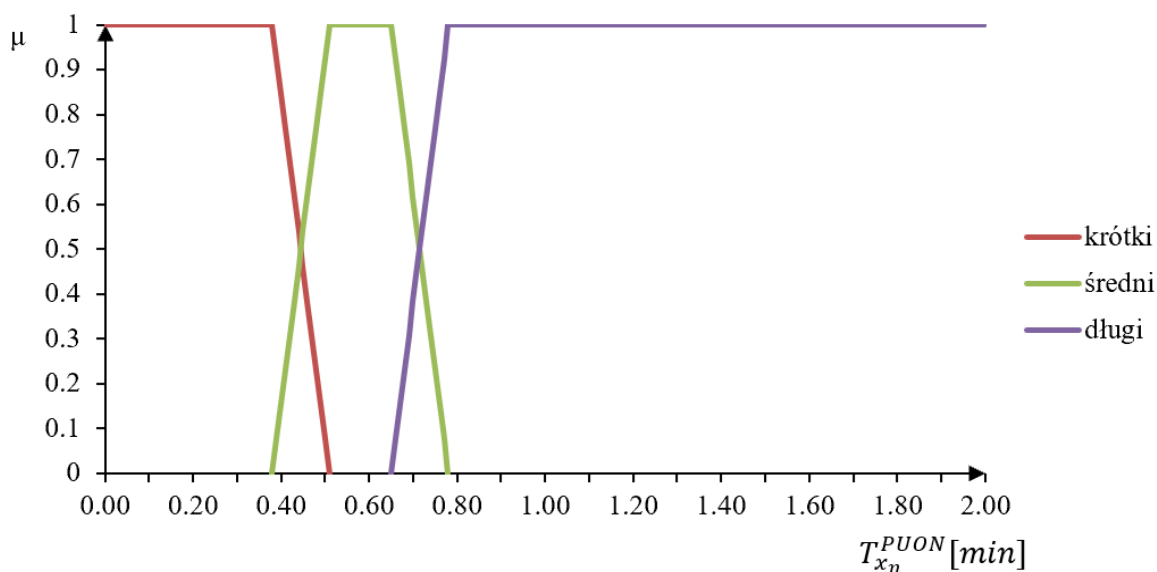
Na podstawie zgromadzonych danych empirycznych w porcie lotniczym opracowano charakterystykę zmiennej T^{PUON} . W tym celu wyodrębniono trzy poziomy oceny: krótki (246), średni (247), długi (248).

$$T_{x_n,kr\acute{o}tki}^{PUON}(x_n^{T^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} \leq 0.38 \\ \frac{0.51 - x_n^{T^{PUON}}}{0.13} & \text{dla } 0.38 < x_n^{T^{PUON}} \leq 0.51 \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} > 0.51 \end{cases} \quad (246)$$

$$T_{x_n,\acute{s}redni}^{PUON}(x_n^{T^{PUON}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} \leq 0.38 \\ \frac{x_n^{T^{PUON}} - 0.38}{0.13} & \text{dla } 0.38 < x_n^{T^{PUON}} \leq 0.51 \\ 1 & \text{dla } 0.51 < x_n^{T^{PUON}} \leq 0.65 \\ \frac{0.78 - x_n^{T^{PUON}}}{0.13} & \text{dla } 0.65 < x_n^{T^{PUON}} \leq 0.78 \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} > 0.78 \end{cases} \quad (247)$$

$$T_{x_n,d\acute{l}ugi}^{PUON}(x_n^{T^{PUON}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} \leq 0.65 \\ \frac{x_n^{T^{PUON}} - 0.65}{0.13} & \text{dla } 0.65 < x_n^{T^{PUON}} \leq 0.78 \\ 0 & \text{dla } x_n^{T^{PUON}} > 0.78 \end{cases} \quad (248)$$

Rysunek 6.2 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom.



Rysunek 6.2. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej czas trwania podłączania urządzeń obsługi naziemnej.

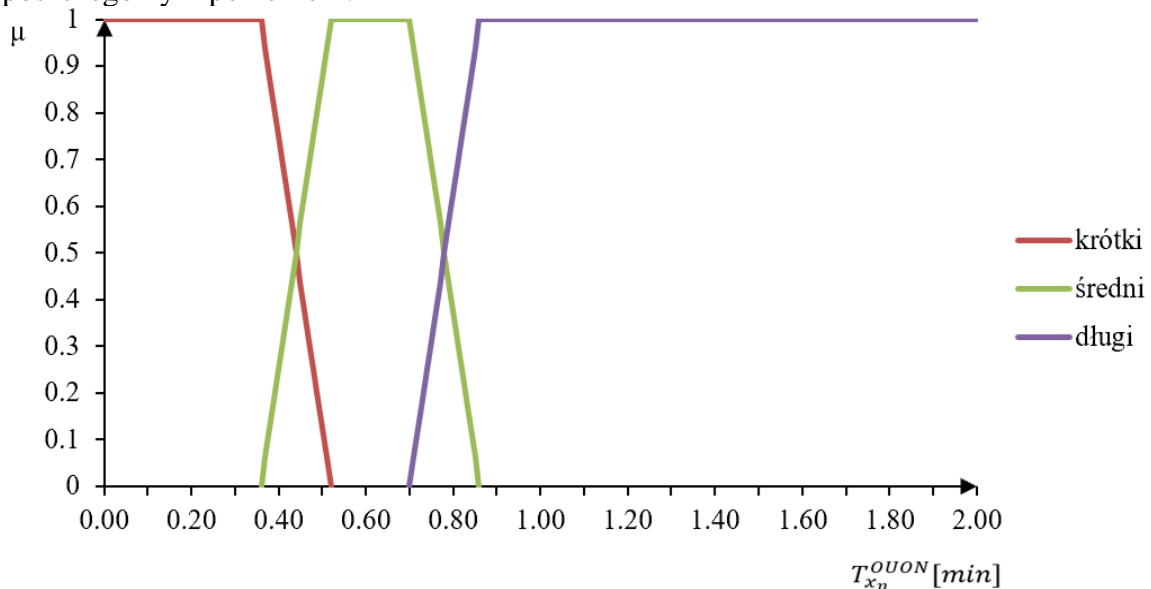
Na podstawie zgromadzonych danych empirycznych w porcie lotniczym opracowano charakterystykę zmiennej T^{OUON} . W tym celu wyodrębniono trzy poziomy oceny: krótki (249), średni (250), długi (251).

$$T_{x_n,kr\u00f3tki}^{OUON}(x_n^{OUON}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{OUON} \leq 0.36 \\ \frac{0.52 - x_n^{OUON}}{0.16} & \text{dla } 0.36 < x_n^{OUON} \leq 0.52 \\ 0 & \text{dla } x_n^{OUON} > 0.52 \end{cases} \quad (249)$$

$$T_{x_n,\u015bredni}^{OUON}(x_n^{OUON}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{OUON} \leq 0.36 \\ \frac{x_n^{OUON} - 0.36}{0.16} & \text{dla } 0.36 < x_n^{OUON} \leq 0.52 \\ 1 & \text{dla } 0.52 < x_n^{OUON} \leq 0.65 \\ \frac{0.70 - x_n^{OUON}}{0.16} & \text{dla } 0.65 < x_n^{OUON} \leq 0.70 \\ 0 & \text{dla } x_n^{OUON} > 0.86 \end{cases} \quad (250)$$

$$T_{x_n,d\u0142ugi}^{OUON}(x_n^{OUON}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{OUON} \leq 0.70 \\ \frac{x_n^{OUON} - 0.7}{0.16} & \text{dla } 0.70 < x_n^{OUON} \leq 0.86 \\ 0 & \text{dla } x_n^{OUON} > 0.86 \end{cases} \quad (251)$$

Rysunek 6.3 prezentuje przebieg oraz granice funkcji przynale\u017anioci odpowiadaj\u0105cych poszczeg\u00f3lnym poziomom.



Rysunek 6.3. Funkcje przynale\u017anioci dla zmiennych definiuj\u0105cych czas trwania od\u0142\u0105czenia urz\u0105dze\u0144 obs\u0142ugi naziemnej.

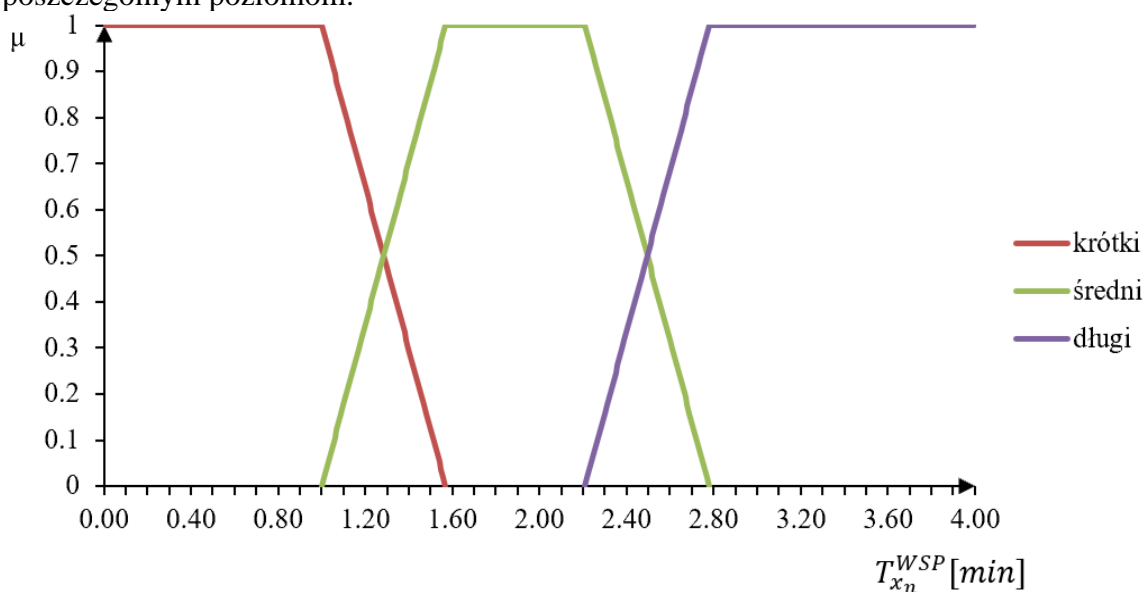
Na podstawie zgromadzonych danych empirycznych w porcie lotniczym opracowano charakterystyk\u0119 zmiennych T^{WSP} . W tym celu wyodr\u0119biono trzy poziomy oceny: kr\u00f3tki (252), \u015bredni (253), d\u0142ugi (254).

$$T_{x_n,kr\u00f3tki}^{WSP}(x_n^{WSP}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WSP} \leq 1.0 \\ \frac{1.57 - x_n^{WSP}}{0.57} & \text{dla } 1.0 < x_n^{WSP} \leq 1.57 \\ 0 & \text{dla } x_n^{WSP} > 1.57 \end{cases} \quad (252)$$

$$T_{x_n, \text{średni}}^{\text{WSP}}(x_n^{\text{WSP}}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{\text{WSP}} \leq 1.0 \\ \frac{x_n^{\text{WSP}} - 1.0}{0.57} & \text{dla } 1.0 < x_n^{\text{WSP}} \leq 1.57 \\ 1 & \text{dla } 1.57 < x_n^{\text{WSP}} \leq 2.21 \\ \frac{2.78 - x_n^{\text{WSP}}}{0.57} & \text{dla } 2.21 < x_n^{\text{WSP}} \leq 2.78 \\ 0 & \text{dla } x_n^{\text{WSP}} > 2.78 \end{cases} \quad (253)$$

$$T_{x_n, \text{długi}}^{\text{WSP}}(x_n^{\text{WSP}}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{\text{WSP}} \leq 2.21 \\ \frac{x_n^{\text{WSP}} - 2.21}{0.57} & \text{dla } 2.21 < x_n^{\text{WSP}} \leq 2.78 \\ 0 & \text{dla } x_n^{\text{WSP}} > 2.78 \end{cases} \quad (254)$$

Rysunek 6.4 prezentuje przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom.



Rysunek 6.4. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej czas trwania wypychania statku powietrznego.

Granice funkcji przynależności dla zmiennej wejściowej – wskaźnik czasu trwania WT^i – określono na podstawie opinii 10 ekspertów (Tabela 6.2), wszystkich aktywnie zaangażowanych w proces obsługi naziemnej statku powietrznego.

Tabela 6.2. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej wskaźnik czasu trwania i-tej czynności.

| | niski | średni | wysoki |
|------------|-------|--------|--------|
| Ekspert 1 | 0.50 | 0.75 | 0.95 |
| Ekspert 2 | 0.45 | 0.70 | 1.00 |
| Ekspert 3 | 0.50 | 0.80 | 1.20 |
| Ekspert 4 | 0.35 | 0.70 | 1.40 |
| Ekspert 5 | 0.40 | 0.65 | 0.90 |
| Ekspert 6 | 0.50 | 0.80 | 1.00 |
| Ekspert 7 | 0.50 | 0.80 | 1.00 |
| Ekspert 8 | 0.25 | 0.70 | 1.10 |
| Ekspert 9 | 0.40 | 0.75 | 1.00 |
| Ekspert 10 | 0.30 | 0.60 | 1.20 |

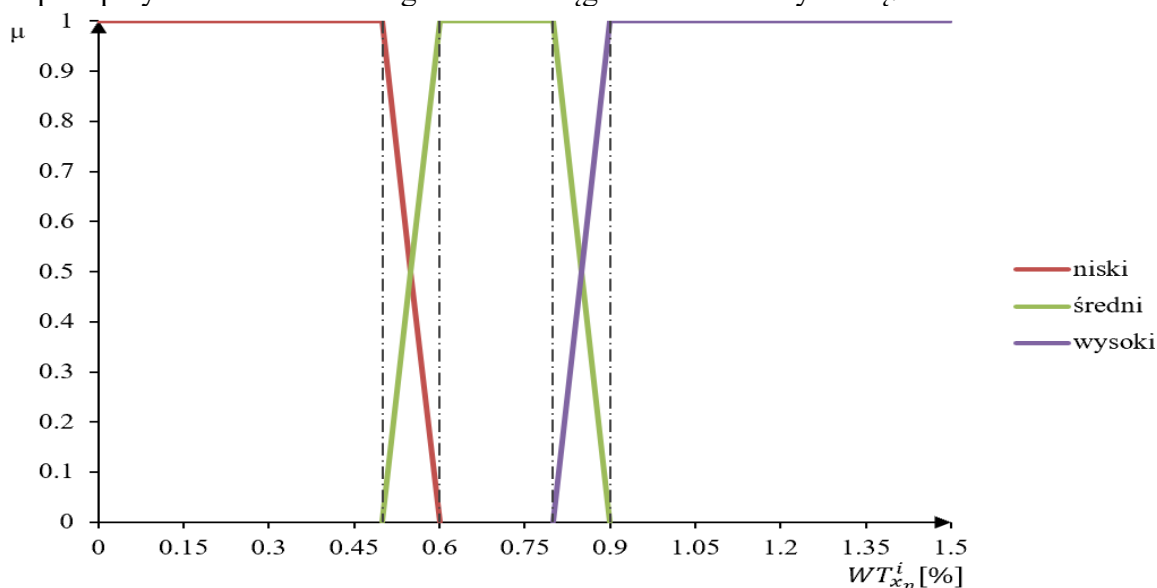
Na podstawie zgromadzonych danych opracowano charakterystykę zmiennej WT^i . W tym celu wyodrębniono trzy poziomy oceny: niski (255), średni (256), wysoki (257).

$$WT_{x_n, \text{niski}}^i(x_n^{WT^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^i} \leq 0.5 \\ \frac{0.6 - x_n^{WT^i}}{0.1} & \text{dla } 0.5 < x_n^{WT^i} \leq 0.6 \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^i} > 0.6 \end{cases} \quad (255)$$

$$WT_{x_n, \text{średni}}^i(x_n^{WT^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{WT^i} \leq 0.5 \\ \frac{x_n^{WT^i} - 0.5}{0.1} & \text{dla } 0.5 < x_n^{WT^i} \leq 0.6 \\ 1 & \text{dla } 0.6 < x_n^{WT^i} \leq 0.8 \\ \frac{0.9 - x_n^{WT^i}}{0.1} & \text{dla } 0.8 < x_n^{WT^i} \leq 0.9 \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^i} > 0.9 \end{cases} \quad (256)$$

$$WT_{x_n, \text{wysoki}}^i(x_n^{WT^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{WT^i} \leq 0.8 \\ \frac{x_n^{WT^i} - 0.8}{0.1} & \text{dla } 0.8 < x_n^{WT^i} \leq 0.9 \\ 0 & \text{dla } x_n^{WT^i} > 0.9 \end{cases} \quad (257)$$

Rysunek 6.5 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom. Wierzchołki tych funkcji wyznaczają punkty, dla których stopień przynależności do danego zbioru osiąga wartość maksymalną.



Rysunek 6.5. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej wskaźnik czasu trwania i-tej czynności.

Granice funkcji przynależności dla zmiennej wejściowej terminowość zatrzymania statku powietrznego ZSP^i określono na podstawie opinii 10 ekspertów (Tabela 6.3) wszystkich aktywnie zaangażowanych w proces obsługi naziemnej statku powietrznego.

Tabela 6.3. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej terminowość zatrzymania statku powietrznego dla i-tej czynności.

| | przed czasem [min] | punktualnie [min] | opóźnienie [min] |
|-----------|--------------------|-------------------|------------------|
| Ekspert 1 | -15.0 | 3.0 | 13.0 |
| Ekspert 2 | -13.0 | -2.0 | 12.0 |

| | | | |
|------------|-------|------|------|
| Ekspert 3 | -10.0 | -3.0 | 13.0 |
| Ekspert 4 | -12.0 | -5.0 | 10.0 |
| Ekspert 5 | -15.0 | -1.0 | 15.0 |
| Ekspert 6 | -14.0 | 3.0 | 10.0 |
| Ekspert 7 | -15.0 | 1.0 | 10.0 |
| Ekspert 8 | -10.0 | 5.0 | 11.0 |
| Ekspert 9 | -10.0 | -3.0 | 15.0 |
| Ekspert 10 | -15.0 | -1.0 | 12.0 |

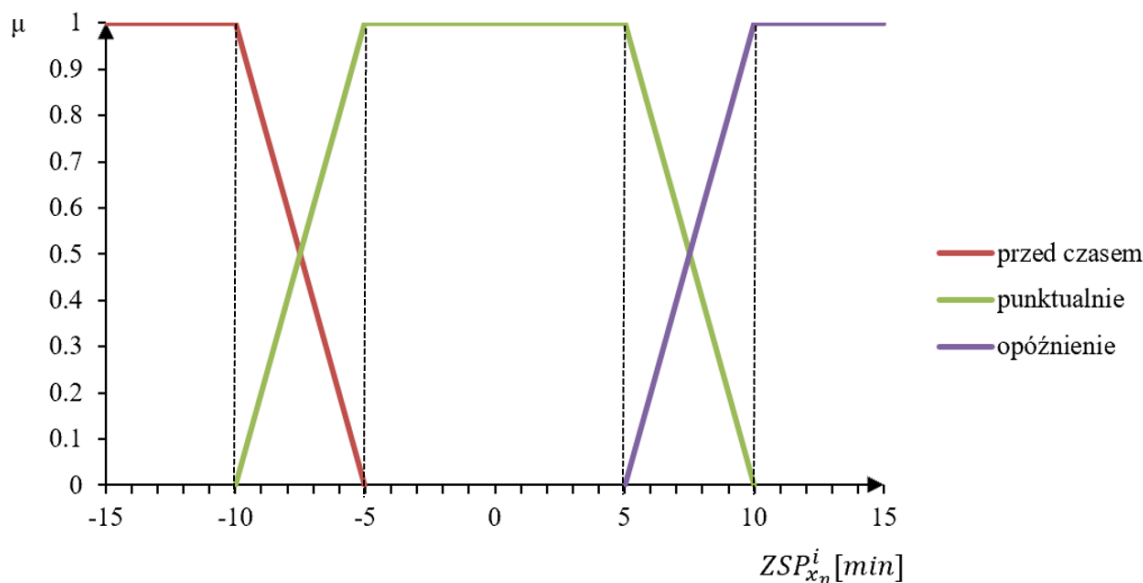
Na podstawie zgromadzonych danych opracowano charakterystykę zmiennej ZSPⁱ. W tym celu wyodrębniono trzy poziomy oceny: przed czasem (258), punktualnie (259), opóźnienie (260).

$$ZSP_{x_n, \text{przed czasem}}^i(x_n^{ZSP^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} \leq -10 \\ \frac{-5 - x_n^{ZSP^i}}{5} & \text{dla } -10 < x_n^{ZSP^i} \leq -5 \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} > -5 \end{cases} \quad (258)$$

$$ZSP_{x_n, \text{punktualnie}}^i(x_n^{ZSP^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} \leq 0.5 \\ \frac{x_n^{ZSP^i} + 10}{5} & \text{dla } -10 < x_n^{ZSP^i} \leq -5 \\ 1 & \text{dla } -5 < x_n^{ZSP^i} \leq -10 \\ \frac{10 - x_n^{ZSP^i}}{5} & \text{dla } 5 < x_n^{ZSP^i} \leq 10 \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} > 10 \end{cases} \quad (259)$$

$$ZSP_{x_n, \text{opóźnienie}}^i(x_n^{ZSP^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} \leq 5 \\ \frac{x_n^{ZSP^i} - 5}{5} & \text{dla } 5 < x_n^{ZSP^i} \leq 10 \\ 0 & \text{dla } x_n^{ZSP^i} > 10 \end{cases} \quad (260)$$

Rysunek 6.6 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom. Wierzchołki tych funkcji wyznaczają punkty, dla których stopień przynależności do danego zbioru osiąga wartość maksymalną.



Rysunek 6.6. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej terminowość zatrzymania statku powietrznego dla i-tej czynności.

Granice funkcji przynależności dla zmiennej wejściowej – gotowość A^i – określono na podstawie opinii 10 ekspertów (Tabela 6.4) wszystkich aktywnie zaangażowanych w proces obsługi naziemnej statku powietrznego.

Tabela 6.4. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej gotowość.

| | niska | średnia | wysoka |
|------------|-------|---------|--------|
| Ekspert 1 | 0.30 | 0.60 | 0.90 |
| Ekspert 2 | 0.45 | 0.75 | 0.95 |
| Ekspert 3 | 0.40 | 0.60 | 0.90 |
| Ekspert 4 | 0.48 | 0.75 | 0.86 |
| Ekspert 5 | 0.49 | 0.79 | 0.93 |
| Ekspert 6 | 0.45 | 0.75 | 0.95 |
| Ekspert 7 | 0.30 | 0.60 | 0.90 |
| Ekspert 8 | 0.31 | 0.57 | 0.88 |
| Ekspert 9 | 0.35 | 0.65 | 0.85 |
| Ekspert 10 | 0.41 | 0.66 | 0.91 |

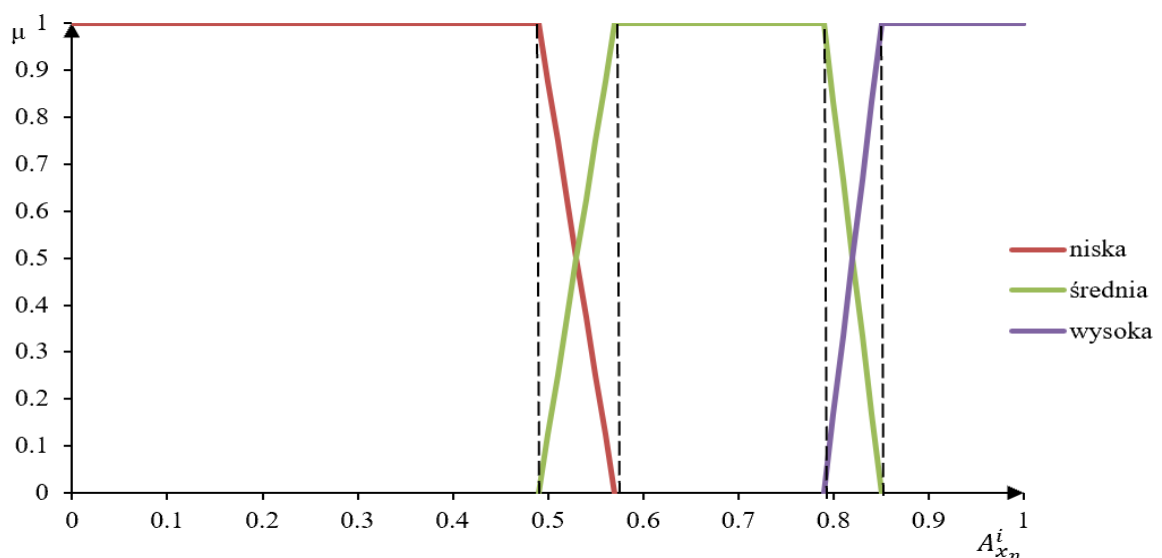
Na podstawie zgromadzonych danych opracowano charakterystykę zmiennej A^i . W tym celu wyodrębniono trzy poziomy oceny: niska (261), średnia (262), wysoka (263).

$$A_{x_n, niska}^i(x_n^{A^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{A^i} \leq 0.49 \\ \frac{0.57 - x_n^{A^i}}{0.08} & \text{dla } 0.49 < x_n^{A^i} \leq 0.57 \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^i} > 0.57 \end{cases} \quad (261)$$

$$A_{x_n, \text{średnia}}^i(x_n^{A^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{A^i} \leq 0.49 \\ \frac{x_n^{A^i} - 0.49}{0.08} & \text{dla } 0.49 < x_n^{A^i} \leq 0.57 \\ 1 & \text{dla } 0.57 < x_n^{A^i} \leq 0.79 \\ \frac{0.85 - x_n^{A^i}}{0.06} & \text{dla } 0.79 < x_n^{A^i} \leq 0.85 \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^i} > 0.85 \end{cases} \quad (262)$$

$$A_{x_n, \text{wysoka}}^i(x_n^{A^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{A^i} \leq 0.79 \\ \frac{x_n^{A^i} - 0.79}{0.06} & \text{dla } 0.79 < x_n^{A^i} \leq 0.85 \\ 0 & \text{dla } x_n^{A^i} > 0.85 \end{cases} \quad (263)$$

Rysunek 6.7 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom. Wierzchołki tych funkcji wyznaczają punkty, dla których stopień przynależności do danego zbioru osiąga wartość maksymalną.



Rysunek 6.7. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej gotowość.

Granice funkcji przynależności dla zmiennej wyjściowej $Ocena^i$ określono na podstawie opinii 10 ekspertów (Tabela 6.5) wszystkich aktywnie zaangażowanych w proces obsługi naziemnej statku powietrznego.

Tabela 6.5. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej zmienną wyjściową oceną.

| | niska | średnia | wysoka |
|-----------|-------|---------|--------|
| Ekspert 1 | 1.50 | 3.00 | 6.00 |
| Ekspert 2 | 1.60 | 4.00 | 5.00 |
| Ekspert 3 | 2.00 | 3.70 | 5.20 |
| Ekspert 4 | 1.30 | 3.40 | 5.30 |
| Ekspert 5 | 1.00 | 3.10 | 5.30 |
| Ekspert 6 | 1.20 | 3.20 | 5.80 |
| Ekspert 7 | 0.50 | 3.30 | 5.90 |

| | | | |
|------------|------|------|------|
| Ekspert 8 | 1.90 | 3.10 | 5.30 |
| Ekspert 9 | 1.90 | 3.20 | 5.10 |
| Ekspert 10 | 1.20 | 3.50 | 5.60 |

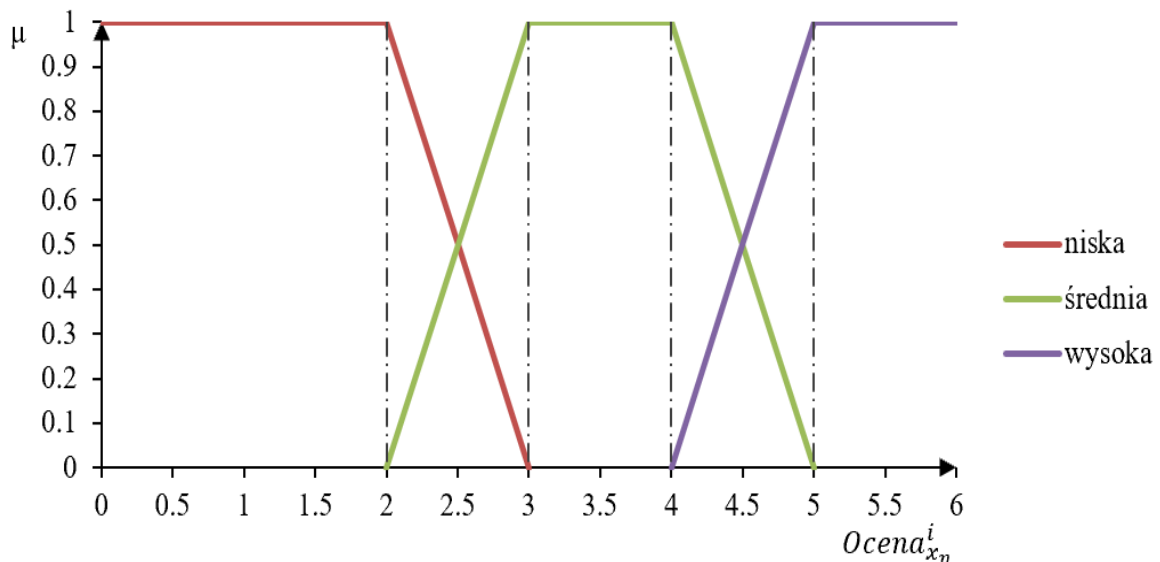
Na podstawie zgromadzonych danych opracowano charakterystykę zmiennej $Ocena^i$. W tym celu wyodrębniono trzy poziomy oceny: niska (264), średnia (265), wysoka (266).

$$Ocena_{x_n, niska}^i(x_n^{Ocena^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} \leq 2 \\ \frac{3 - x_n^{Ocena^i}}{1} & \text{dla } 2 < x_n^{Ocena^i} \leq 3 \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} > 3 \end{cases} \quad (264)$$

$$Ocena_{x_n, \text{średnia}}^i(x_n^{Ocena^i}) \begin{cases} 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} \leq 2 \\ \frac{x_n^{Ocena^i} - 2}{1} & \text{dla } 2 < x_n^{Ocena^i} \leq 3 \\ 1 & \text{dla } 3 < x_n^{Ocena^i} \leq 4 \\ \frac{5 - x_n^{Ocena^i}}{1} & \text{dla } 4 < x_n^{Ocena^i} \leq 5 \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} > 5 \end{cases} \quad (265)$$

$$Ocena_{x_n, wysoka}^i(x_n^{Ocena^i}) \begin{cases} 1 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} \leq 4 \\ \frac{x_n^{Ocena^i} - 4}{1} & \text{dla } 4 < x_n^{Ocena^i} \leq 5 \\ 0 & \text{dla } x_n^{Ocena^i} > 5 \end{cases} \quad (266)$$

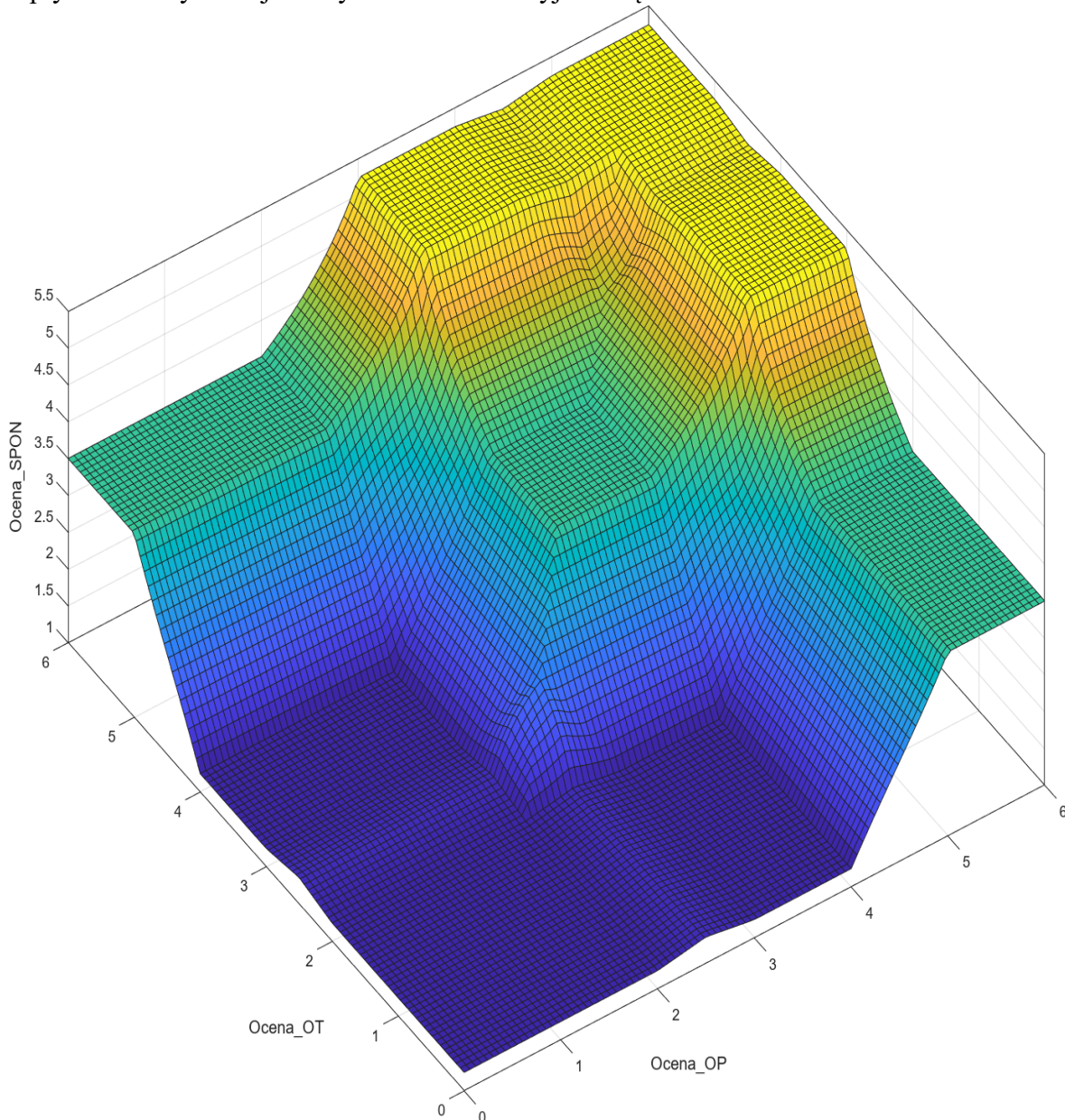
Rysunek 6.8 przedstawia przebieg oraz granice funkcji przynależności odpowiadających poszczególnym poziomom. Wierzchołki tych funkcji wyznaczają punkty, dla których stopień przynależności do danego zbioru osiąga wartość maksymalną.



Rysunek 6.8. Funkcje przynależności dla zmiennej wyjściowej definiującej ocenę.

6.2. MODEL OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZYM

Rysunek 6.9 przedstawia trójwymiarową powierzchnię odpowiedzi modelu rozmytego oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. Przedstawia on wpływ zmiennych wejściowych na wartość wyjściową.



Rysunek 6.9. Wykres powierzchniowy oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym.

Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym została przeprowadzona poprzez zestawienie ocen ekspertów z wynikami uzyskiwanymi z prezentowanego w pracy podejścia. Głównym celem procesu weryfikacji jest zaprezentowanie, że opracowany model oceny jest zgodny z obowiązującymi standardami. Weryfikację przeprowadzono na podstawie opinii 10 ekspertów związanych

z obsługą naziemną statków powietrznych. Tabela 6.6 - Tabela 6.15 prezentują wyniki weryfikacji modelu.

Tabela 6.6. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 1.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | niska |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | niska |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | średnia |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.7. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 2.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | niska |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | średnia |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | wysoka |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.8. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 3.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | średnia |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | średnia |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | średnia |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.9. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 4.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | średnia |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | średnia |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |

| | | | | | |
|---|------|------|------|---------|---------|
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | średnia |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.10. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 5.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | niska |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | średnia |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | średnia |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.11. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 6.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | niska |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | niska |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | wysoka |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | niska |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.12. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 7.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | niska |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | średnia |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | średnia |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | średnia |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | średnia |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.13. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 8.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | średnia |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | średnia |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |

| | | | | | |
|---|------|------|------|---------|---------|
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | średnia |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

Tabela 6.14. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 9.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | niska |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | wysoka |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | średnia |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | wysoka |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | wysoka |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | wysoka |

Tabela 6.15. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 10.

| Lp. | Ocena ^{OP} | Ocena ^{OT} | Ocena ^{SPON} - model rozmyty | Ocena ^{SPON} - wartość lingwistyczna | Ocena ^{SPON} - ekspert |
|-----|---------------------|---------------------|--|---|---------------------------------|
| 1 | 4.12 | 2.30 | 2.11 | niska | niska |
| 2 | 2.88 | 5.27 | 4.91 | wysoka | średnia |
| 3 | 2.18 | 2.00 | 1.29 | niska | niska |
| 4 | 1.63 | 4.72 | 2.84 | średnia | niska |
| 5 | 5.18 | 4.41 | 5.15 | wysoka | średnia |
| 6 | 3.27 | 4.42 | 4.01 | średnia | średnia |
| 7 | 3.70 | 3.70 | 3.50 | średnia | średnia |
| 8 | 5.24 | 5.20 | 5.24 | wysoka | wysoka |
| 9 | 2.36 | 5.44 | 3.94 | średnia | średnia |

W celu oceny zgodności pomiędzy oceną uzyskaną w ramach modelu a oceną uzyskaną przez ekspertów zastosowano test zgodności chi-kwadrat. W ramach przyjętych rozważań zastosowano następujące hipotezy badawcze:

- H_0 : Oceny modelu są zgodne z ocenami ekspertów.
- H_1 : Oceny modelu nie są zgodne z ocenami ekspertów.

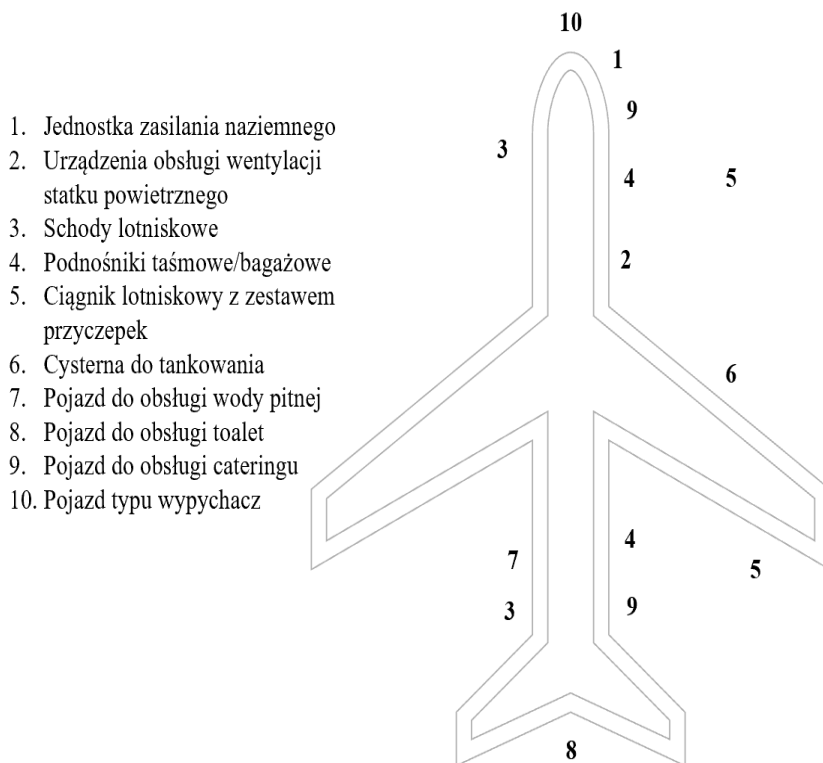
Obliczono wartości statystyki χ^2 zgodnie z wzorem (267).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}} \quad (267)$$

Otrzymano wartość statystyki $\chi^2 = 2.35$. Wartość statystyki z tablic rozkładu chi kwadrat wynosi 5.9915 ($\chi_\alpha^2 = 5.9915$). Na poziomie istotności $\alpha = 0.05$ nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 ($\chi^2 < \chi_\alpha^2$). Uzyskane wyniki wskazują na zgodność ocen modelu z ocenami ekspertów.

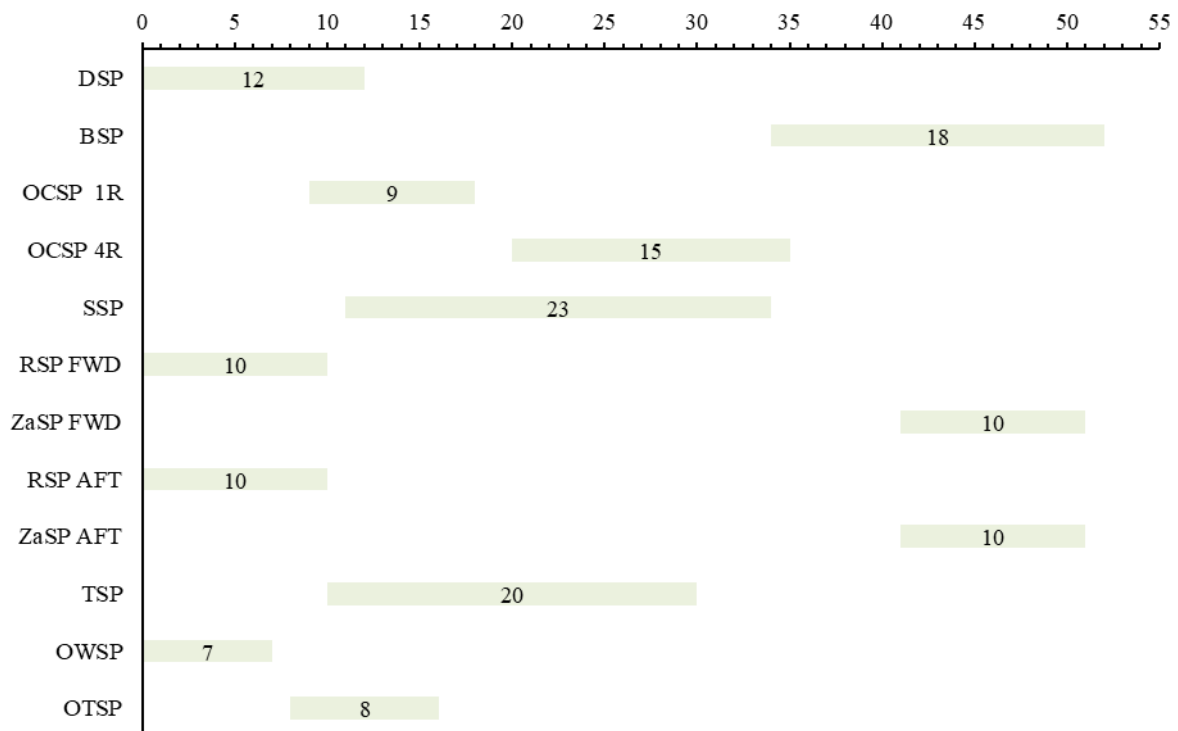
7. APLIKACJA MODELU OCENY PROCESU OBSŁUGI NAZIEMNEJ STATKÓW POWIETRZNYCH W PORCIE LOTNICZYM

Aplikacja modelu została opracowana dla statku powietrznego Airbus A321. Schemat procesu obsługi dla statku powietrznego Airbus A321 przedstawia Rysunek 7.1 [265].



Rysunek 7.1. Schemat rozmieszczenia urządzeń obsługi naziemnej dla statku powietrznego Airbus A321.

Rysunek 7.1 przedstawia wykaz obiektów technicznych do realizacji procesu obsługi naziemnej. Na schemacie nie uwzględniono lokalizacji pojazdu obsługi technicznej, ponieważ może on znajdować się w dowolnym miejscu, z zachowaniem obowiązujących wytycznych bezpieczeństwa. Pojazd obsługi technicznej jednocześnie nie posiada bezpośredniego połączenia ze statkiem powietrznym. Wykres Ganta dotyczący przewidywanego czasu procesu obsługi naziemnej przedstawia Rysunek 7.2 [265].



Rysunek 7.2. Harmonogram procesu obsługi naziemnej statku powietrznego Airbus A321.

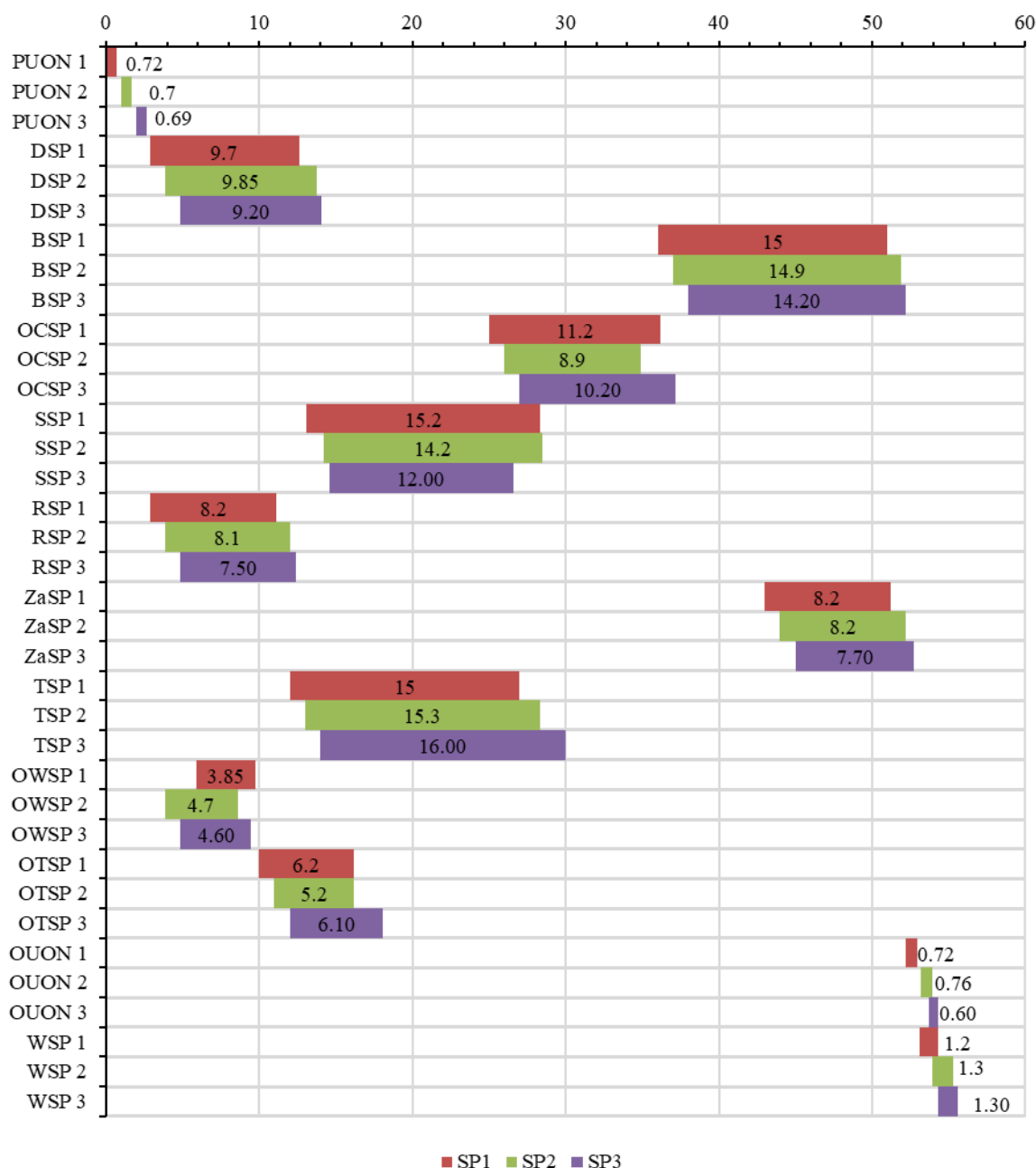
Czynności, dla których instrukcja operacyjna statku powietrznego określa przewidywany czas ich trwania to rozładunek (RSP), załadunek (ZaSP), deboarding (DSP), boarding (BSP), tankowanie (TSP), obsługa toalet (OTSP), obsługa wody (OWSP), obsługa cateringu (OCSP) i sprzątanie (SSP). Czynności, dla których instrukcja operacyjna statku powietrznego nie zawiera informacji o czasie trwania to: podłączanie urządzeń obsługi naziemnej (PUON), odłączanie urządzeń obsługi naziemnej (OUON) i wypychanie statku powietrznego (WSP). W ramach podjętych rozważań analizie poddano trzy scenariusze:

- scenariusz 1, w którym port lotniczy dysponuje wszystkimi zasobami do obsługi 3 statków powietrznych w analizowanym czasie T ,
- scenariusz 2, w którym port lotniczy dysponuje 2 obiektami technicznymi z grupy UON_6 ,
- scenariusz 3, w którym port lotniczy dysponuje 1 obiektem technicznym z grupy UON_{11} .

Scenariusz 1 został zaprezentowany w rozdziale 7.1, scenariusz 2 w 7.2, scenariusz 3 w 7.3.

7.1. SCENARIUSZ 1

Analizie poddano okres, w którym w ciągu godziny powinny zostać obsłużone trzy statki powietrzne typu Airbus A321. Rysunek 7.3 przedstawia harmonogram czynności procesu obsługi naziemnej dla trzech statków powietrznych (SP1, SP2 i SP3) dla scenariusza 1.



Rysunek 7.3. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych Airbus A321 – scenariusz 1.

Wartości zmiennej czasu trwania i -tej czynności (T^i) wyznaczono zgodnie z równaniem (19). Wartości zmiennej wskaźnik czasu trwania i -tej czynności (WT^i) wyznaczono zgodnie z równaniem (27). Wartości zmiennej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i -tej czynności ($ONCR^i$) wyznaczono zgodnie z równaniem (15). Tabela 7.1 przedstawia dane poddawane analizie w modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym w ramach scenariusza 1.

Tabela 7.1. Dane dotyczące oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 1.

| Statek powietrzny | Czynność | ONCR ⁱ [min] | T ⁱ [min] | WT ⁱ [%] | ZSP ⁱ [min] |
|-------------------|----------|-------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| SP1 | PUON | -3.95 | 0.72 | - | -4.00 |
| | DSP | -4.00 | - | 0.81 | -4.00 |
| | BSP | -4.00 | - | 0.83 | -4.00 |
| | OCSP | -4.10 | - | 0.75 | -4.00 |
| | SSP | -3.50 | - | 0.66 | -4.00 |
| | RSP | -4.88 | - | 0.82 | -4.00 |
| | ZaSP | -4.30 | - | 0.82 | -4.00 |
| | TSP | -2.09 | - | 0.75 | -4.00 |
| | OWSP | -2.60 | - | 0.55 | -4.00 |
| | OTSP | -4.42 | - | 0.78 | -4.00 |
| | OUON | -3.87 | 0.72 | - | -4.00 |
| | WSP | -3.29 | 1.20 | - | -4.00 |
| SP2 | PUON | -4.50 | 0.70 | - | -3.00 |
| | DSP | -4.20 | - | 0.82 | -3.00 |
| | BSP | -4.20 | - | 0.83 | -3.00 |
| | OCSP | -3.75 | - | 0.59 | -3.00 |
| | SSP | -3.60 | - | 0.62 | -3.00 |
| | RSP | -4.15 | - | 0.81 | -3.00 |
| | ZaSP | -3.80 | - | 0.82 | -3.00 |
| | TSP | -3.90 | - | 0.77 | -3.00 |
| | OWSP | -3.78 | - | 0.67 | -3.00 |
| | OTSP | -3.45 | - | 0.65 | -3.00 |
| | OUON | -4.00 | 0.76 | - | -3.00 |
| | WSP | -2.95 | 1.30 | - | -3.00 |
| SP3 | PUON | -4.48 | 0.69 | - | -2.00 |
| | DSP | -3.50 | - | 0.77 | -2.00 |
| | BSP | -3.50 | - | 0.79 | -2.00 |
| | OCSP | -3.70 | - | 0.68 | -2.00 |
| | SSP | -3.72 | - | 0.52 | -2.00 |
| | RSP | -3.80 | - | 0.75 | -2.00 |
| | ZaSP | -3.82 | - | 0.77 | -2.00 |
| | TSP | -3.90 | - | 0.8 | -2.00 |
| | OWSP | -3.20 | - | 0.66 | -2.00 |
| | OTSP | -4.10 | - | 0.76 | -2.00 |
| | OUON | -3.80 | 0.6 | - | -2.00 |
| | WSP | -3.10 | 1.3 | - | -2.00 |

Dane zostały zaimplementowane do środowiska Matlab R2024b. Do analizy uzyskanych wyników wykorzystano narzędzie Fuzzy Logic Designer. Tabela 7.2 przedstawia wyniki modelu oceny operacyjnej obsługi naziemnej statków powietrznych dla scenariusza 1.

Tabela 7.2. Wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 1.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|-----------------------|------|------|------|
| Ocena ^{PiW} | 3.98 | 3.90 | 4.11 |
| Ocena ^{PBSP} | 4.86 | 5.16 | 5.18 |
| Ocena ^{TeSP} | 5.23 | 4.82 | 5.19 |
| Ocena ^{OP} | 4.85 | 4.75 | 5.22 |

W analizowanym czasie T obsługa naziemna była realizowana dla trzech statków powietrznych. Poziom taktyczny oceny opiera się na wyznaczeniu gotowości obiektów technicznych (A^{SOT}) i gotowości personelu (A^{POT}). Tabela 7.3 stanowi podsumowanie

wartości niezbędnych do wyznaczenia gotowości obiektów technicznych (A^{SOT}) zgodnie z wzorem (39) dla scenariusza 1.

Tabela 7.3. Dane dotyczące gotowości obiektów technicznych w porcie lotniczym – scenariusz 1.

| Parametr | SP1 | SP2 | SP3 |
|----------------|-------|-------|-------|
| A_{UON_1} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_2} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_3} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_4} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_5} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_6} | 1.000 | 1.000 | 0.997 |
| A_{UON_7} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_8} | 1.000 | 1.000 | 0.993 |
| A_{UON_9} | 1.000 | 1.000 | 0.993 |
| $A_{UON_{10}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $A_{UON_{11}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Tabela 7.4 stanowi podsumowanie wartości niezbędnych do wyznaczenia gotowości operatorów (A^{POT}) zgodnie z wzorem (47) dla scenariusza 1.

Tabela 7.4. Dane dotyczące gotowości operatorów w porcie lotniczym – scenariusz 1.

| Parametr | SP1 | SP2 | SP3 |
|----------------|-------|-------|-------|
| A_{PON_1} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_2} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_3} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_4} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_5} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_6} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_7} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_8} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_9} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| $A_{PON_{10}}$ | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| $A_{PON_{11}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Tabela 7.3 i Tabela 7.4 prezentują dane niezbędne do wyznaczenia gotowości obiektów technicznych (A^{SOT}) zgodnie z wzorem (38) i gotowości operatorów (A^{POT}) (46). Tabela 7.5 przedstawia wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych dla scenariusza 1.

Tabela 7.5. Wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 1.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|---------------------|------|------|------|
| A^{SOT} | 1.0 | 1.0 | 0.98 |
| A^{POT} | 1.0 | 1.0 | 0.97 |
| Ocena ^{OT} | 5.24 | 5.24 | 5.24 |

Tabela 7.6 przedstawia wyniki wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym dla scenariusza 1.

Tabela 7.6. Wyniki modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – scenariusz 1.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|-----------------------|------|------|------|
| Ocena ^{OP} | 4.85 | 4.75 | 5.22 |
| Ocena ^{OT} | 5.24 | 5.24 | 5.24 |
| Ocena ^{SPON} | 5.21 | 5.19 | 5.24 |

Ocena procesu statku powietrznego 1 uzyskała wartość 5.21. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Ocena procesu statku powietrznego 2 uzyskała wartość 5.19. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Ocena procesu statku powietrznego 3 uzyskała wartość 5.24. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Statki powietrzne zostały obsłużone zgodnie z harmonogramem. Realizacja operacji nie spowodowała opóźnienia statku powietrznego.

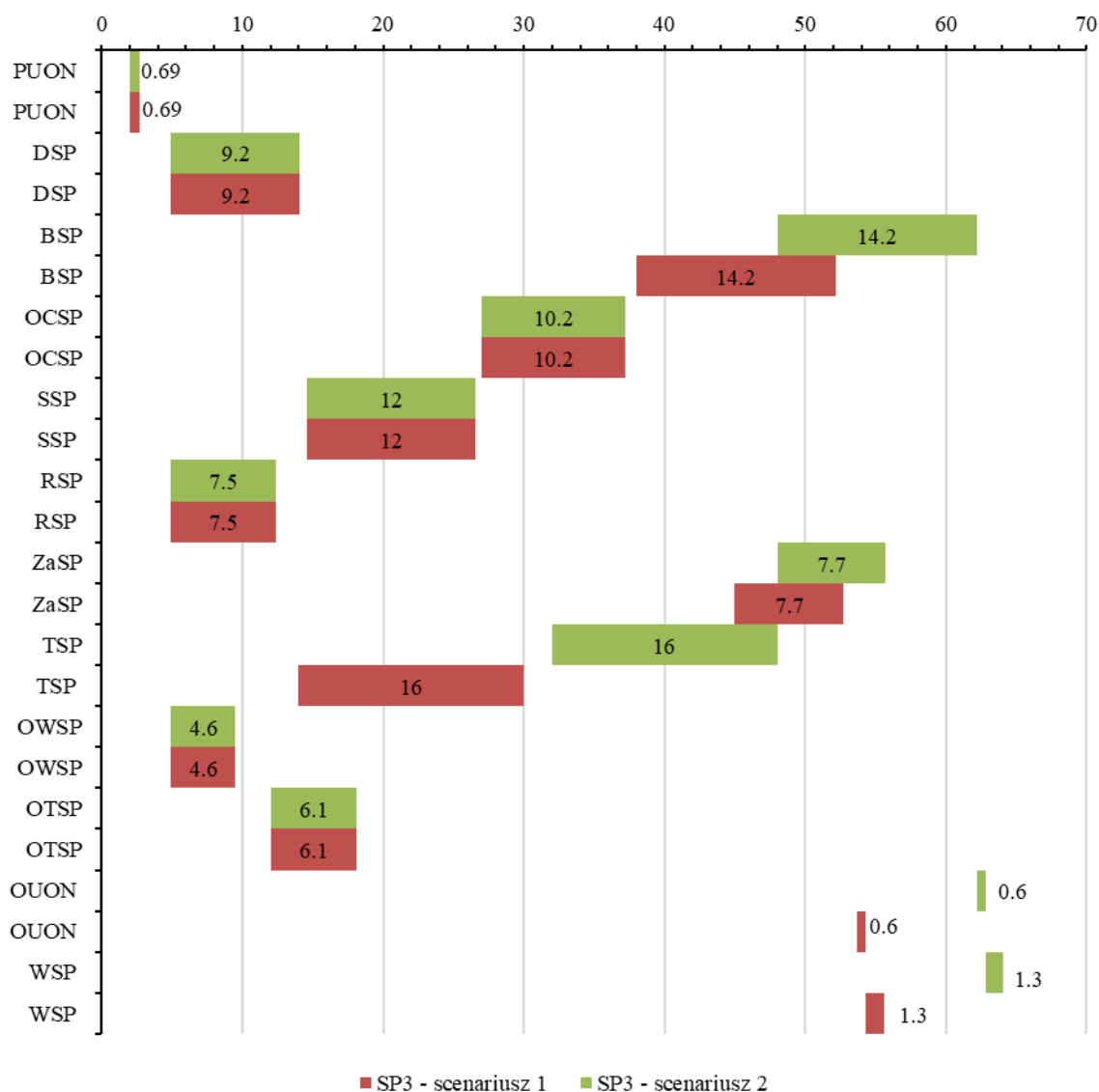
7.2. SCENARIUSZ 2

Scenariusz 2 zakłada, iż port lotniczy dysponuje 2 obiektami technicznymi z grupy UON₆. Rysunek 7.4 przedstawia harmonogram czynności procesu obsługi naziemnej dla trzech statków powietrznych (SP1, SP2 i SP3) dla scenariusza 2.



Rysunek 7.4. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych Airbus A321 – scenariusz 2.

Z uwagi na to, iż w scenariuszu 2 port lotniczy posiada 2 obiekty techniczne z grupy UON₆, realizacja czynności tankowania dla statku powietrznego 3 (SP3) została zrealizowana z opóźnieniem. Rezultatem opóźnienia realizacji czynności tankowania (TSP), było opóźnienie realizacji następujących czynności: boarding (BSP), załadunek (ZaSP), odłączanie urządzeń obsługi naziemnej (OUON) oraz wypychanie statku powietrznego (WSP). Rysunek 7.5 przedstawia harmonogram obsługi dla scenariusza 1 i 2 dla statku powietrznego 3.



Rysunek 7.5. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych – porównanie scenariusza 1 i 2.

Tabela 7.7 przedstawia dane w zakresie oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym dla scenariusza 2.

Tabela 7.7. Dane dotyczące oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 2.

| Statek powietrzny | Czynność | ONCR ⁱ [min] | T ⁱ [min] | WT ⁱ [%] | ZSP ⁱ [min] |
|-------------------|----------|-------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| SP1 | PUON | -3.95 | 0.72 | - | -4.00 |
| | DSP | -4.00 | - | 0.81 | -4.00 |

| | | | | | |
|------|-------|-------|------|-------|-------|
| | BSP | -4.00 | - | 0.83 | -4.00 |
| | OCSP | -4.10 | - | 0.75 | -4.00 |
| | SSP | -3.50 | - | 0.66 | -4.00 |
| | RSP | -4.88 | - | 0.82 | -4.00 |
| | ZaSP | -4.30 | - | 0.82 | -4.00 |
| | TSP | -2.09 | - | 0.75 | -4.00 |
| | OWSP | -2.60 | - | 0.55 | -4.00 |
| | OTSP | -4.42 | - | 0.78 | -4.00 |
| | OUON | -3.87 | 0.72 | - | -4.00 |
| | WSP | -3.29 | 1.2 | - | -4.00 |
| SP2 | PUON | -4.50 | 0.70 | - | -3.00 |
| | DSP | -4.20 | - | 0.82 | -3.00 |
| | BSP | -4.20 | - | 0.83 | -3.00 |
| | OCSP | -3.75 | - | 0.59 | -3.00 |
| | SSP | -3.60 | - | 0.62 | -3.00 |
| | RSP | -4.15 | - | 0.81 | -3.00 |
| | ZaSP | -3.80 | - | 0.82 | -3.00 |
| | TSP | -3.90 | - | 0.77 | -3.00 |
| | OWSP | -3.78 | - | 0.67 | -3.00 |
| | OTSP | -3.45 | - | 0.65 | -3.00 |
| SP3 | OUON | -4.00 | 0.76 | - | -3.00 |
| | WSP | -2.95 | 1.30 | - | -3.00 |
| | PUON | -4.48 | 0.69 | - | -2.00 |
| | DSP | -3.50 | - | 0.77 | -2.00 |
| | BSP | 6.50 | - | 0.79 | -2.00 |
| | OCSP | -3.70 | - | 0.68 | -2.00 |
| | SSP | -3.72 | - | 0.52 | -2.00 |
| | RSP | -3.80 | - | 0.75 | -2.00 |
| | ZaSP | -0.82 | - | 0.77 | -2.00 |
| | TSP | 14.10 | - | 0.8 | -2.00 |
| OWSP | -3.20 | - | 0.66 | -2.00 | |
| OTSP | -4.10 | - | 0.76 | -2.00 | |
| OUON | 5.20 | 0.6 | - | -2.00 | |
| WSP | 5.40 | 1.3 | - | -2.00 | |

Opóźnienie realizacji czynności tankowania (TSP), wynosiło 14.10 [min]. Zmianie uległy również odchylenia od harmonogramu dla: boardingu (BSP), załadunku (ZaSP), odłączania urządzeń obsługi naziemnej (OUON) oraz wypychania statku powietrznego (WSP). Wartości czasu trwania czynności nie uległy zmianie. Tabela 7.8 przedstawia wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych dla scenariusza 2.

Tabela 7.8. Wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 2.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|-----------------------|------|------|------|
| Ocena ^{PiW} | 3.98 | 3.90 | 1.36 |
| Ocena ^{PBSP} | 4.86 | 5.16 | 4.27 |
| Ocena ^{TeSP} | 5.23 | 4.82 | 3.50 |
| Ocena ^{OP} | 4.85 | 4.75 | 1.87 |

Tabela 7.9 przedstawia gotowości obiektów technicznych (A^{SOT}) zgodnie z wzorem (39) dla scenariusza 2.

Tabela 7.9. Dane dotyczące gotowości obiektów technicznych w porcie lotniczym – scenariusz 2.

| Parametr | SP1 | SP2 | SP3 |
|----------------|-------|-------|-------|
| A_{UON_1} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_2} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_3} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_4} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_5} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_6} | 0.999 | 0.953 | 0.953 |
| A_{UON_7} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_8} | 1.000 | 1.000 | 0.993 |
| A_{UON_9} | 1.000 | 1.000 | 0.993 |
| $A_{UON_{10}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $A_{UON_{11}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Ograniczenie dostępności zasobów spowodowało obniżenie gotowości obiektów z grupy UON_6 . Tabela 7.10 przedstawia podsumowanie wartości niezbędnych do wyznaczenia gotowości operatorów (A^{POT}) zgodnie z wzorem (47) dla scenariusza 2.

Tabela 7.10. Dane dotyczące gotowości operatorów w porcie lotniczym – scenariusz 2.

| Parametr | SP1 | SP2 | SP3 |
|----------------|-------|-------|-------|
| A_{PON_1} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_2} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_3} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_4} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_5} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_6} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{PON_7} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_8} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_9} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| $A_{PON_{10}}$ | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| $A_{PON_{11}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

W analizowanym scenariuszu gotowość operatorów (A^{POT}) z grupy UON_6 wyniosła 1. Tabela 7.11 przedstawia wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych dla scenariusza 2.

Tabela 7.11. Wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 2.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|---------------------|------|------|------|
| A^{SOT} | 1.0 | 0.95 | 0.94 |
| A^{POT} | 1.0 | 1.0 | 0.97 |
| Ocena ^{OT} | 5.24 | 5.24 | 5.24 |

Tabela 7.12 przedstawia wyniki wnioskowania rozmytego modelu oceny systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym dla scenariusza 2.

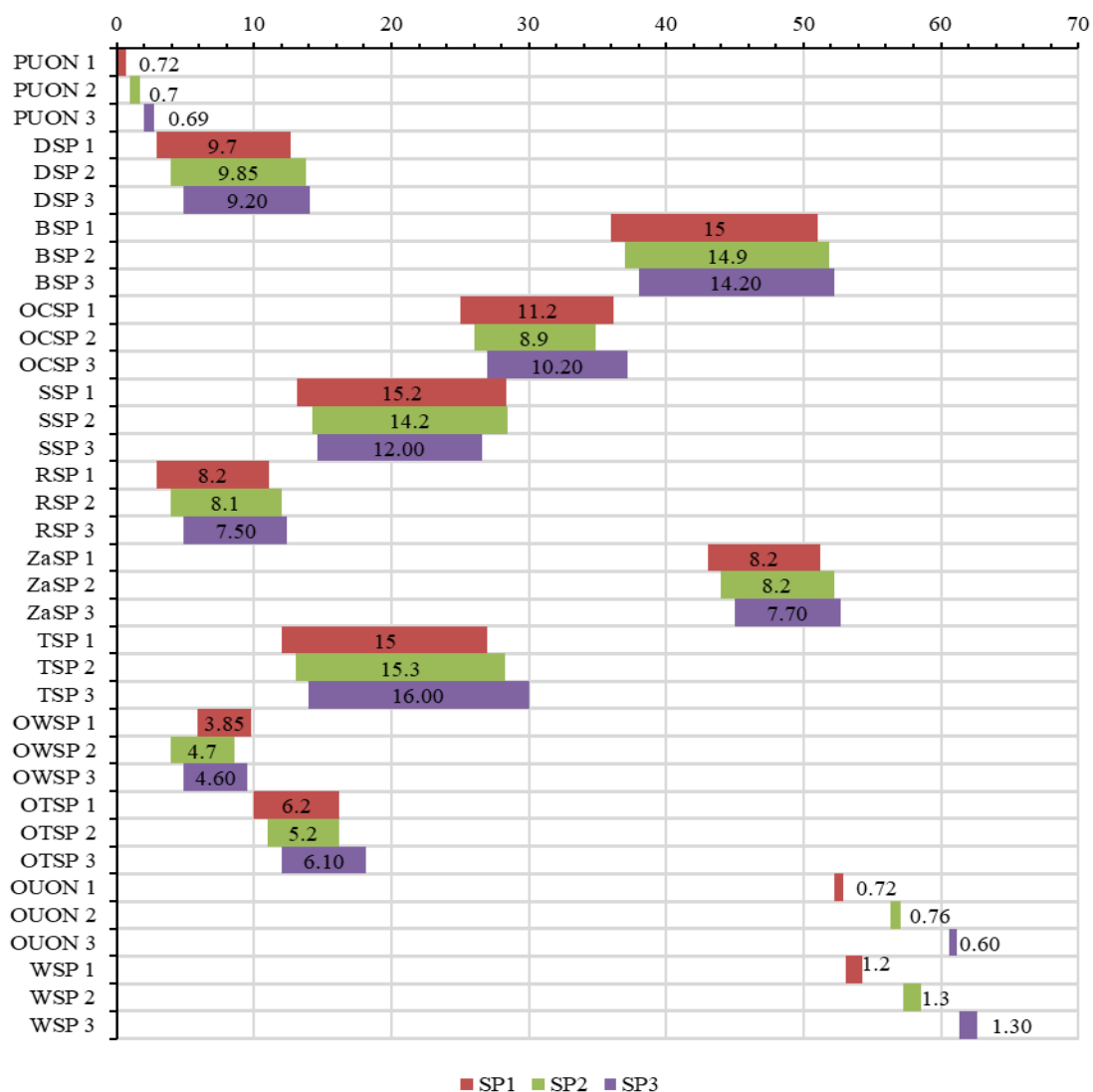
Tabela 7.12. Wyniki modelu oceny systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – scenariusz 2.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|-----------------------|------|------|------|
| Ocena ^{OP} | 4.85 | 4.75 | 1.87 |
| Ocena ^{OT} | 5.24 | 5.24 | 5.24 |
| Ocena ^{SPON} | 5.21 | 5.19 | 3.50 |

Ocena procesu statku powietrznego 1 uzyskała wartość 5.21. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Ocena procesu statku powietrznego 2 uzyskała wartość 5.19. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Ocena procesu statku powietrznego 3 uzyskała wartość 3.5. Wskazuje to na ocenę średnią według prezentowanego modelu oceny. Obniżenie oceny dla statku powietrznego 3 wynikało z odstępstwa od harmonogramu. Pomimo wysokiej gotowości obiektów technicznych, problematycznym jest liczba obiektów technicznych. Zmiana harmonogramu realizacji operacji związanych z tankowaniem statku powietrznego spowodowała zmiany w realizacji operacji związanych z boardingiem, załadunkiem odłączaniem urządzeń naziemnych oraz wypychaniem statku powietrznego.

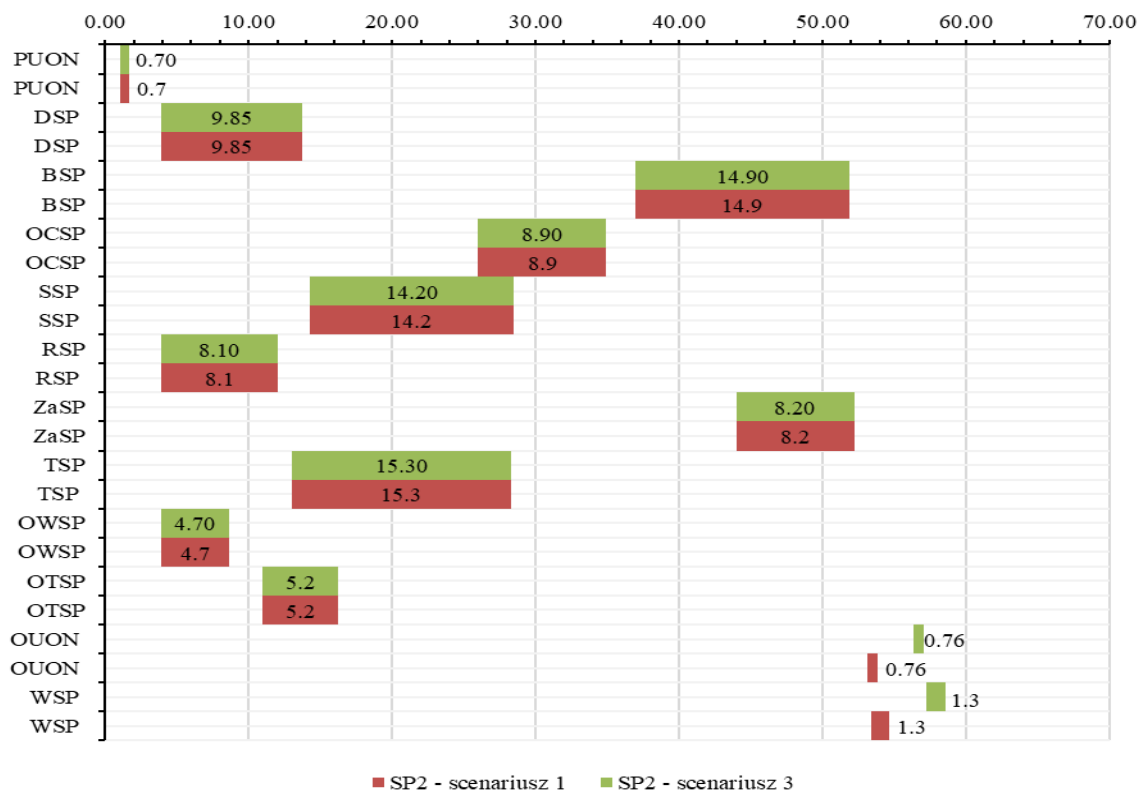
7.3. SCENARIUSZ 3

Scenariusz 3 zakłada, iż port lotniczy dysponuje 1 obiektem technicznym z grupy UON₁₁. Rysunek 7.6 przedstawia harmonogram czynności procesu obsługi naziemnej dla trzech statków powietrznych (SP1, SP2 i SP3) dla scenariusza 3.

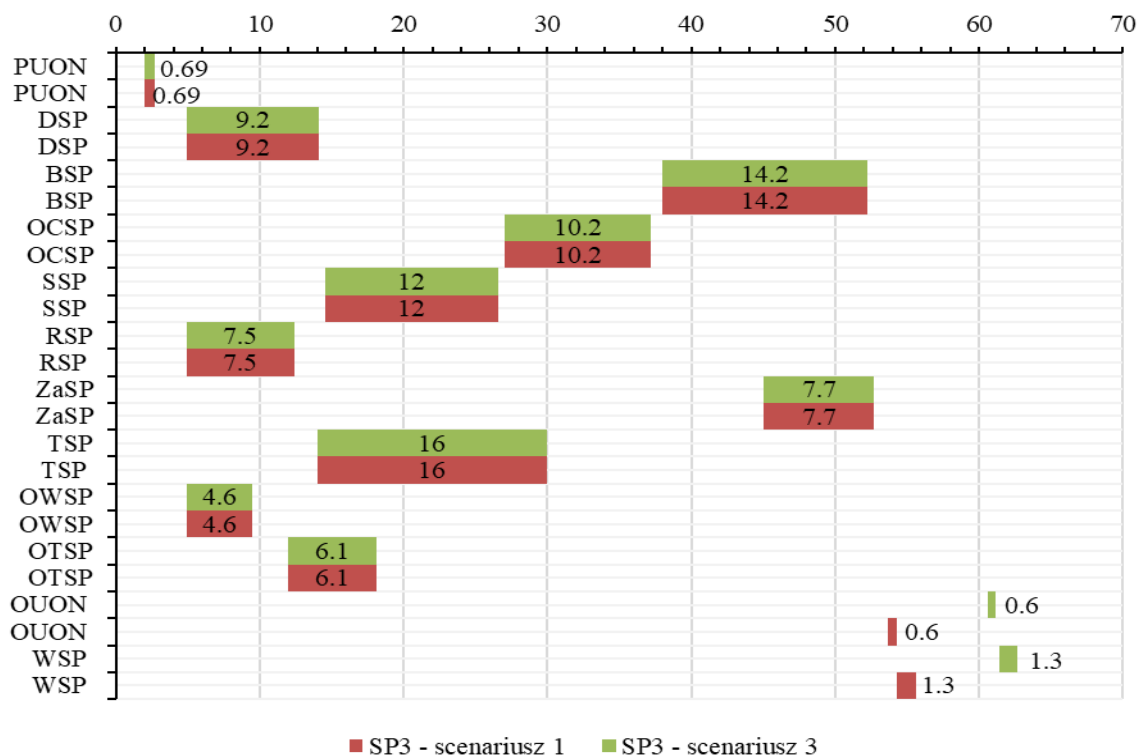


Rysunek 7.6. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych Airbus A321 – scenariusz 3.

Z uwagi na to, iż w scenariuszu 3 port lotniczy posiada 1 obiekt techniczny z grupy UON₁₁, realizacja czynności odłączania urządzeń obsługi naziemnej (OUON) oraz wypychania statku powietrznego (WSP) dla statku powietrznego 2 (SP2) oraz statku powietrznego 3 (SP3) zostały zrealizowane z opóźnieniem. Rysunek 7.7 przedstawia porównanie harmonogramu procesu obsługi statku powietrznego 2 (SP2) w scenariuszu 1 i scenariuszu 2. Rysunek 7.8 przedstawia porównanie harmonogramu procesu obsługi statku powietrznego 3 (SP3) w scenariuszu 1 i scenariuszu 2.



Rysunek 7.7. Harmonogram procesu obsługi naziemnej statku powietrznego 2: scenariusz 1 i scenariusz 3.



Rysunek 7.8. Harmonogram procesu obsługi naziemnej statku powietrznego 3: scenariusz 1 i scenariusz 3.

Pozostałe czynności były realizowane zgodnie z założonym harmonogramem. Tabela 7.13 przedstawia dane w zakresie oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym dla scenariusza 3.

Tabela 7.13. Dane dotyczące oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 3.

| Statek powietrzny | Czynność | ONCR ⁱ [min] | T ⁱ [min] | WT ⁱ [%] | ZSP ⁱ [min] |
|-------------------|----------|-------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| SP1 | PUON | -3.95 | 0.72 | - | -4.00 |
| | DSP | -4.00 | - | 0.81 | -4.00 |
| | BSP | -4.00 | - | 0.83 | -4.00 |
| | OCSP | -4.10 | - | 0.75 | -4.00 |
| | SSP | -3.50 | - | 0.66 | -4.00 |
| | RSP | -4.88 | - | 0.82 | -4.00 |
| | ZaSP | -4.30 | - | 0.82 | -4.00 |
| | TSP | -2.09 | - | 0.75 | -4.00 |
| | OWSP | -2.60 | - | 0.55 | -4.00 |
| | OTSP | -4.42 | - | 0.78 | -4.00 |
| | OUON | -3.87 | 0.72 | - | -4.00 |
| | WSP | -3.29 | 1.20 | - | -4.00 |
| SP2 | PUON | -4.50 | 0.70 | - | -3.00 |
| | DSP | -4.20 | - | 0.82 | -3.00 |
| | BSP | -4.20 | - | 0.83 | -3.00 |
| | OCSP | -3.75 | - | 0.59 | -3.00 |
| | SSP | -3.60 | - | 0.62 | -3.00 |
| | RSP | -4.15 | - | 0.81 | -3.00 |
| | ZaSP | -3.80 | - | 0.82 | -3.00 |
| | TSP | -3.90 | - | 0.77 | -3.00 |
| | OWSP | -3.78 | - | 0.67 | -3.00 |
| | OTSP | -3.45 | - | 0.65 | -3.00 |
| | OUON | 0.88 | 0.76 | - | -3.00 |
| | WSP | 0.37 | 1.30 | - | -3.00 |
| SP3 | PUON | -4.48 | 0.69 | - | -2.00 |
| | DSP | -3.50 | - | 0.77 | -2.00 |
| | BSP | 10.00 | - | 0.79 | -2.00 |
| | OCSP | -3.70 | - | 0.68 | -2.00 |
| | SSP | -3.72 | - | 0.52 | -2.00 |
| | RSP | -3.80 | - | 0.75 | -2.00 |
| | ZaSP | 3.00 | - | 0.77 | -2.00 |
| | TSP | 18.60 | - | 0.8 | -2.00 |
| | OWSP | -3.20 | - | 0.66 | -2.00 |
| | OTSP | -4.10 | - | 0.76 | -2.00 |
| | OUON | 3.08 | 0.6 | - | -2.00 |
| | WSP | 3.98 | 1.3 | - | -2.00 |

W analizowanym scenariuszu zmianie uległo odchylenie od harmonogramu dla: odłączania urządzeń obsługi naziemnej (OUON) oraz wypychania statku powietrznego (WSP). W scenariuszu 3 wartości odchylenia dla OUON wynosi 3.08 [min], natomiast dla WSP 3.98 [min]. Tabela 7.14 przedstawia wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych dla scenariusza 3.

Tabela 7.14. Wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 3.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|----------------------|------|------|------|
| Ocena ^{PiW} | 3.98 | 2.64 | 2.06 |

| | | | |
|-----------------------|------|------|------|
| Ocena ^{PBSP} | 4.86 | 5.16 | 5.18 |
| Ocena ^{TeSP} | 5.23 | 4.82 | 5.19 |
| Ocena ^{OP} | 4.85 | 4.38 | 3.56 |

Tabela 7.15 przedstawia gotowości obiektów technicznych (A^{SOT}) zgodnie z wzorem (39) dla scenariusza 3.

Tabela 7.15. Dane dotyczące gotowości obiektów technicznych w porcie lotniczym – scenariusz 3.

| Parametr | SP1 | SP2 | SP3 |
|----------------|-------|-------|-------|
| A_{UON_1} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_2} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_3} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_4} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_5} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_6} | 1.000 | 1.000 | 0.997 |
| A_{UON_7} | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| A_{UON_8} | 1.000 | 1.000 | 0.993 |
| A_{UON_9} | 1.000 | 1.000 | 0.993 |
| $A_{UON_{10}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $A_{UON_{11}}$ | 0.975 | 0.975 | 0.975 |

Ograniczenie dostępności zasobów spowodowało obniżenie gotowości obiektów z grupy UON_{11} . Tabela 7.16 przedstawia podsumowanie wartości niezbędnych do wyznaczenia gotowości operatorów (A^{POT}) zgodnie z wzorem (47) dla scenariusza 3.

Tabela 7.16. Dane dotyczące gotowości operatorów w porcie lotniczym – scenariusz 3.

| Parametr | SP1 | SP2 | SP3 |
|----------------|-------|-------|-------|
| A_{PON_1} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_2} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_3} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_4} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_5} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_6} | 1.000 | 1.000 | 0.994 |
| A_{PON_7} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_8} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| A_{PON_9} | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| $A_{PON_{10}}$ | 1.000 | 1.000 | 0.998 |
| $A_{PON_{11}}$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

W analizowanym scenariuszu gotowość operatorów (A^{POT}) z grupy UON_{11} wyniosła 1. Tabela 7.17 przedstawia wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych dla scenariusza 3.

Tabela 7.17. Wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 3.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|---------------------|------|------|------|
| A^{SOT} | 0.97 | 0.97 | 0.96 |
| A^{POT} | 1.0 | 1.0 | 0.97 |
| Ocena ^{OT} | 5.24 | 5.24 | 5.24 |

Tabela 7.18 przedstawia wyniki wnioskowania rozmytego modelu oceny systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym dla scenariusza 3.

Tabela 7.18. Wyniki modelu oceny systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – scenariusz 3.

| | SP1 | SP2 | SP3 |
|-----------------------|------|------|------|
| Ocena ^{OP} | 4.85 | 4.38 | 3.56 |
| Ocena ^{OT} | 5.24 | 5.24 | 5.24 |
| Ocena ^{SPON} | 5.21 | 5.16 | 5.24 |

Ocena procesu statku powietrznego 1 uzyskała wartość 5.21. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Ocena procesu statku powietrznego 2 uzyskała wartość 5.16. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Ocena procesu statku powietrznego 3 uzyskała wartość 5.24. Wskazuje to na ocenę wysoką według prezentowanego modelu oceny. Warto zaznaczyć iż, pomimo wysokiej oceny dla każdego statku powietrznego istotnym jest obniżenie jego oceny operacyjnej. Wynikła ona z odchyleń w realizacji operacji obsługowych. Główną ich przyczyną było obniżenie liczby pojazdów odpowiedzialnych za wypychanie statku powietrznego.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

System procesu obsługi naziemnej statku powietrznego jest złożonym elementem transportu lotniczego. Sposób organizacji pracy portu lotniczego warunkuje efektywność realizowanych operacji lotniczych. Opóźnienia i zakłócenia pojawiające się w procesie oddziałują na organizację portu lotniczego, wykorzystanie jego przepustowości, zadowolenie pasażerów i rentowność przewoźników lotniczych. Przeprowadzony przegląd literatury wykazał, iż pomimo znaczącego rozwoju narzędzi wspierających ocenę systemów eksploatacji identyfikuje się lukę teoretyczną – poznawczą w zakresie oceny procesów obsługi naziemnej.

Procesy obsługi naziemnej charakteryzują się wysoką zmiennością i niepewnością. W przypadku realizacji lotów zgodnie z harmonogramem port lotniczy jest w stanie zorganizować niezbędne zasoby w sposób zapewniający terminową realizację wymaganych operacji. W sytuacji opóźnień i wystąpienia zdarzeń niepożądanych terminowość realizacji procesów obsługi staje się wyzwaniem. Wynika to z możliwości wystąpienia braku wystarczającej liczby zasobów ludzkich i technicznych do zapewnienia terminowej realizacji procesów obsługi.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest model oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. Model ten składa się z dwóch poziomów działalności portu lotniczego: operacyjnej i taktycznej. Ocena operacyjna skupia się na uwzględnieniu operacji zapewniających gotowość statku powietrznego do realizacji kolejnego zadania transportowego. Wśród tych czynności uwzględniono: proces podłączania i odłączania urządzeń obsługi naziemnej, rozładunek, załadunek, boarding, deboarding, obsługę wody, toalet, cateringu i sprzątanie statku powietrznego. Ocena operacyjna uwzględnia także wypychanie statku powietrznego. Głównym celem poziomu oceny operacyjnej jest identyfikacja czynności, które mogą negatywnie wpływać na terminowość obsługi. Z tego względu głównymi parametrami tej części modelu przyjęto zmienne informujące o czasie realizacji danej czynności, terminowości pojawienia się statku powietrznego na stanowisku postojowym oraz odchyleniu od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia realizacji danej operacji. Ocena taktyczna skupia się na elementach niezawodnościowych procesu obsługi. Głównym celem poziomu taktycznego jest charakterystyka niezawodnościowa procesu obsługi. Z tego względu głównymi parametrami tej części modelu przyjęto zmienne informujące o gotowości obiektów technicznych oraz gotowości personelu.

W scenariuszu 1, w którym port lotniczy dysponuje wszystkimi zasobami do obsługi 3 statków powietrznych w analizowanym czasie ocena systemu kształtowała się na wysokim poziomie. Model zwracał zatem informację, że port lotniczy posiada wystarczającą liczbę zasobów technicznych i ludzkich do realizacji zaplanowanych operacji. Dodatkowo czynności realizowane są zgodnie z zaplanowanym harmonogramem i ich realizacja nie wpływała na powstawanie opóźnień.

W scenariuszu 2, w którym port lotniczy dysponuje 2 obiektami technicznymi z grupy odpowiedzialnej za tankowanie statku powietrznego, zidentyfikowano spadek oceny dla statku powietrznego 3. Statek powietrzny 1 i 2 został obsłużony zgodnie z założonym harmonogramem. Obniżenie oceny dla statku powietrznego 3 było wywołane opóźnieniem realizacji procesu tankowania. Efektem tego było opóźnienie realizacji czynności związanych m.in. z boardingiem pasażerów. W rezultacie statek powietrzny został obsłużony około 10 minut później niż zakładał harmonogram. W takim scenariuszu model zwracał wartość średnią (3.5). Pomimo gotowości obiektów technicznych zmianie uległ harmonogram realizacji operacji.

W scenariuszu 3, w którym port lotniczy dysponuje 1 obiektem technicznym odpowiedzialnym za wypychanie statku powietrznego, ocena dla statku powietrznego 1 i 3 nadal pozostała na wysokim poziomie. Istotnym jest to, że opóźnienie w realizacji procedury wypychania spowodowało obniżenie oceny procesu związanego z wypychaniem statku powietrznego. W efekcie model zwrócił ocenę średnią na poziomie operacyjnym (3.5). Aplikacja przedstawia zmiany poziomu oceny w przypadku ograniczenia liczby posiadanych zasobów. Ocena taktyczna w przypadku ograniczenia zasób nie uległa obniżeniu. Port lotniczy nadal posiadał zasoby niezbędne do realizacji czynności. Natomiast, ocena operacyjna uległa obniżeniu. Było to rezultatem zmiany harmonogramu realizowanych czynności.

Proponowany model oceny procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym umożliwia identyfikację obszarów wymagających poprawy. Zmienna dotycząca czas trwania czynności (T^i) i wskaźnika czasu trwania (WT^i) obsługi pozwala na uzyskanie informacji w zakresie czynności realizowanych przez operatorów. Zmienna gotowość obiektów technicznych (A^{SOT}) wskazuje na możliwość ewentualnej analizy obiektów technicznych pod względem ich liczby i stanu technicznego. Podobnie w zakresie gotowości personelu (A^{POT}).

Przeprowadzone prace umożliwiają potwierdzenie tezy, że zakłócenia w realizacji wybranych czynności obsługi naziemnej wpływają na gotowość statku powietrznego do wykonania zadań transportowych zgodnie z harmonogramem. Opóźnienie realizacji procesu tankowania powoduje zakłócenia w realizacji pozostałych czynności i wydłuża czas trwania całego procesu obsługi. Sposób organizacji portu lotniczego wspiera prawidłowe funkcjonowanie portu lotniczego. Przebieg procesu obsługi naziemnej jest zależny od obiektów technicznych i czynnika ludzkiego. Ograniczenie liczby zasobów powoduje opóźnienia w realizacji założonych zadań na płycie lotniska. Model oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym integrującego działalność operacyjną i niezawodność obiektów technicznych pozwala na identyfikację obszarów wymagających poprawy w porcie lotniczym.

Podsumowując model oceny procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym pozwala na analizę i identyfikację obszarów wymagających poprawy. Opracowany model może stanowić element wsparcia w zakresie analizy systemu obsługi w określonych porach dniach i umożliwiać analizę zmian oceny w czasie. Warto jednak podkreślić, że model ten posiada pewne ograniczenia. Nie jest narzędziem wskazującym rozwiązanie problemów działalności operacyjnej i taktycznej portu lotniczego. Model ten stanowi wyłącznie narzędzie do analizy i identyfikacji obszarów wymagających usprawnienia. Model ten nie jest również wrażliwy na poziom powstałego opóźnienia. Dalsze badania w zakresie modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym powinny uwzględniać m.in. infrastrukturę portu lotniczego (np. lokalizacja gniazd sprzętu obsługi naziemnej), czynnik ludzki (np. poziom kompetencji i doświadczenia operatorów) i czynnik techniczny (np. automatyzacja procesów obsługi naziemnej).

BIBLIOGRAFIA

1. Purohit, P. Y., Langner, J. E. B., Feuerle, T., & Hecker, P. (2026). Optimizing Aircraft Turnaround Operations Through Intelligent Technology Integration: A Comprehensive Analysis of the INTACT System's Impact on Flight Efficiency and Economic Performance. *Aerospace*, 13(2), 132. <https://doi.org/10.3390/aerospace13020132>
2. Eurocontrol (2024). All-Causes Delays to Air Transport in Europe - Annual 2024. Dostępny online: <https://www.eurocontrol.int/publication/all-causes-delays-air-transport-europe-annual-2024> (dostęp: 05.04.2026).
3. Zhang, F. (2023). Research of Definition and Analysis Method for Civil Aircraft Turnaround Time. 2023 Global Reliability and Prognostics and Health Management Conference (PHM-Hangzhou), 1–6. <https://doi.org/10.1109/phm-hangzhou58797.2023.10482537>
4. Long, A. (2024). Negotiating Ground-handling Agreements with Destination Airports. *Strategies for Sustainable Air Services Development*, 182–204. <https://doi.org/10.4324/9780429260681-9>
5. Zhou, P., Xu, C., Shen, Y., Zheng, Y., & Du, Y. (2026). Real-time dispatching of airport ramp agents with skill constraints: A simulation tool for ground handling decision-making. *Journal of Air Transport Management*, 134, 102994. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2026.102994>
6. Guardo-Martinez, E., Onggo, S., Kunc, M., Tomasella, M., & Padron, S. (2025). Discrete-event simulation model of turnaround operations to evaluate airline schedule robustness. 12th Simulation Workshop (SW25) Proceedings. <https://doi.org/10.36819/sw25.017>
7. Natarajan, V., Kumari, R., & Priya, M. S. (2025). System and Method for Enhancing Airlines Turnaround Operations. *Industry 4.0 and Advanced Manufacturing*, Volume 1, 171–184. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7150-9_15
8. Malandri, C., Mantecchini, L., Paganelli, F., & Nadia Postorino, M. (2020). Impacts of unplanned aircraft diversions on airport ground operations. *Transportation Research Procedia*, 47, 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.129>
9. Schmidt, M. (2017). A review of aircraft turnaround operations and simulations. *Progress in Aerospace Sciences*, 92, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.05.002>
10. Castro, P. (2022). EU airport ground handling directive or when discretion interferes with public duty: A proposal on how to save Portugal's transposition from discretion. *Case Studies on Transport Policy*, 10(3), 1473–1482. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.05.014>
11. Padrón, S., Guimarans, D., Ramos, J. J., & Fitouri-Trabelsi, S. (2016). A bi-objective approach for scheduling ground-handling vehicles in airports. *Computers & Operations Research*, 71, 34–53. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.12.010>
12. Asadi, E., Schultz, M., & Fricke, H. (2021). Optimal schedule recovery for the aircraft gate assignment with constrained resources. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107682. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107682>
13. Yazgan, E., Durmaz, V., & Yilmaz, A. K. (2022). Development of risk factors taxonomy in ramp operations for corporate sustainability. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 94(2), 268–278. <https://doi.org/10.1108/aeat-03-2021-0094>

14. Ministry for Ecological Transition (2023). Ground Handling: Lay the ground for a safe flight. Dostępny online: <https://www.ecologie.gouv.fr/en/public-policies/ground-handling-lay-ground-safe-flight?> (dostęp: 05.04.2026).
15. Yazgan, E., Durmaz, V., Yılmaz, A. K., & N. Malagas, K. (2022). Integrated risk assessment in ramp handling operations: risk mapping for turkish airports. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 9(4). <https://doi.org/10.58940/2374-6793.1761>
16. Sahadevan, D., Al Ali, H., Notman, D., & Mukandavire, Z. (2023). Optimising Airport Ground Resource Allocation for Multiple Aircraft Using Machine Learning-Based Arrival Time Prediction. *Aerospace*, 10(6), 509. <https://doi.org/10.3390/aerospace10060509>
17. Eurocontrol (2024). 16 Cost of delay. Dostępny online: https://ansperformance.eu/economics/cba/standard-inputs/latest/chapters/cost_of_delay.html (dostęp: 01.04.2026).
18. Kierzkowski, A., Ryczyński, J., Kisiel, T., Mardeusz, E., & Prentkovskis, O. (2025). Modelling the Sustainable Development of the Ground Handling Process Using the PERT-COST Method. *Sustainability*, 17(24), 11278. <https://doi.org/10.3390/su172411278>
19. Xu, J., Ding, M., Zhang, Z.-Z., Xu, Y.-B., Wang, X.-H., & Zhao, F. (2023). Vision-Based Automatic Collection of Nodes of In/Off Block and Docking/Undocking in Aircraft Turnaround. *Applied Sciences*, 13(13), 7832. <https://doi.org/10.3390/app13137832>
20. Szabo, S., Pilát, M., Makó, S., Korba, P., Čičváková, M., & Kmec, Ľ. (2021). Increasing the Efficiency of Aircraft Ground Handling—A Case Study. *Aerospace*, 9(1), 2. <https://doi.org/10.3390/aerospace9010002>
21. Tuduriu, C. C., Milici, D. L., & Paval, M. (2025). From Chaos to Coherent Structure (Pattern): The Mathematical Architecture of Invisible Time—The Critical Minute Theorem in Ground Handling Operations in an Aircraft Turnaround on the Ground of an Airport. *Logistics*, 9(4), 139. <https://doi.org/10.3390/logistics9040139>
22. Li, B., Wang, L., Xing, Z., & Luo, Q. (2022). Performance Evaluation of Multiflight Ground Handling Process. *Aerospace*, 9(5), 273. <https://doi.org/10.3390/aerospace9050273>
23. El Zein, M., Karimipanah, T., & Ameen, A. (2025). Airports—Energy and Sustainability Perspectives. *Energies*, 18(6), 1360. <https://doi.org/10.3390/en18061360>
24. Airport Charges Regulations(2025). Salzburg Airport W.A. Mozart. Dostępny online: https://www.salzburg-airport.com/fileadmin/user_upload/pdf/reports/AIRPORT_CHARGES_01_01_2025.pdf (dostęp: 30.03.2026).
25. Ding, Q., Ma, L., Cui, Y., Cheng, B., & He, X. (2024). Identification and Analysis of Flight Delay Based on Process Relevance. *Aerospace*, 11(6), 445. <https://doi.org/10.3390/aerospace11060445>
26. Sznajderman, L., Ramírez-Díaz, G., & Di Bernardi, C. A. (2021). Influence of the Apron Parking Stand Management Policy on Aircraft and Ground Support Equipment (GSE) Gaseous Emissions at Airports. *Aerospace*, 8(3), 87. <https://doi.org/10.3390/aerospace8030087>

27. Li, N., An, J., Peng, J., Olive, X., Liu, X., & Gao, Z. (2026). Prediction of Apron Queue Length Based on a Single-Server Queueing Network Model. *Aerospace*, 13(2), 156. <https://doi.org/10.3390/aerospace13020156>
28. Zheng, Z., Wei, W., & Hu, M. (2021). A Comparative Analysis of Delay Propagation on Departure and Arrival Flights for a Chinese Case Study. *Aerospace*, 8(8), 212. <https://doi.org/10.3390/aerospace8080212>
29. Kwasińska, A. (2010). Modelling of ground handling operations at airport. *Journal of KONES*, t. 17, nr 3, 253-261.
30. Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, podpisana w Chicago dnia 7 grudnia 1944 r., Dz.U. 1959 nr 35 poz. 212, Dostępny online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19590350212> (dostęp: 11.04.2026).
31. ICAO. Convention On International Civil Aviation - Doc 7300. Dostępny online: <https://www.icao.int/publications/doc-series/convention-international-civil-aviation-doc-7300?utm> (dostęp: 01.02.2026).
32. Urząd Lotnictwa Cywilnego (2018). Załącznik 14 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym LOTNISKA Tom I Projektowanie i eksploatacja lotnisk. Dostępny online: https://ulc.gov.pl/_download/prawo/prawo_miedzynarodowe/konwencje/Zalacznik_14_Tom_I_zm_16.pdf (dostęp: 01.02.2026).
33. ELibrary. Annex 14 — Aerodrome - Vol. I. Dostępny online: <https://elibrary.icao.int/product/274803> (dostęp: 11.04.2026).
34. ICAO (2025). Annex 19 - Safety Management. Dostępny online: <https://www.icao.int/safety-management/access-icao-annexes-and-guidance> (dostęp: 01.02.2026).
35. Foundation For Aviation Competence (2017). Annex 17 – Security. Dostępny online: <https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/10/ICAO-Annex-17-Security.pdf> (dostęp: 01.02.2026).
36. ICAO (2025). Technical Instructions For The Safe Transport of Dangerous Goods by Air (Doc 9284). Dostępny online: <https://www.icao.int/Dangerous-Goods/Technical-Instructions> (dostęp: 01.02.2026).
37. Association Internationale du Trafic Aérien Instytucja sprawcza Wydawca. (2022). Airport handling manual (AHM): Effective 1 January - 31 December 2022 (Edition 42.). International Air Transport Association.
38. EUR-Lex. Dyrektywa Rady 96/67/WE z dnia 15 października 1996 r. w sprawie dostępu do rynku usług obsługi naziemnej w portach lotniczych Wspólnoty. Dostępny online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A31996L0067> (dostęp: 01.02.2026).
39. EUR-Lex. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 z dnia 4 lipca 2018 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie lotnictwa cywilnego i utworzenia Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego oraz zmieniające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 2111/2005, (WE) nr 1008/2008, (UE) nr 996/2010, (UE) nr 376/2014 i dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/30/UE i 2014/53/UE, a także uchylające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 552/2004 i (WE) nr 216/2008 i rozporządzenie Rady (EWG) nr 3922/91. Dostępny online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pl/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1139> (dostęp: 09.03.2026).

40. EUR-Lex. Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2025/20 z dnia 19 grudnia 2024 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 poprzez ustanowienie wymogów dotyczących bezpiecznego świadczenia usług obsługi naziemnej oraz organizacji świadczących te usługi. Dostępny online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:32025R0020> (dostęp: 09.03.2026).
41. EUR-Lex. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 139/2014 z dnia 12 lutego 2014 r. ustanawiające wymagania oraz procedury administracyjne dotyczące lotnisk zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008. Dostępny online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A32014R0139> (dostęp: 09.03.2026).
42. Urząd Lotnictwa Cywilnego. Rozporządzenie 376/2014 z 3 kwietnia 2014 r. Dostępny online: <https://ulc.gov.pl/zarzadzanie-bezpieczenstwem/przepisy-i-materialy-doradcze/przepisy/ue/rozporzadzenie-376-2014> (dostęp: 09.03.2026).
43. Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 965/2012 z dnia 5 października 2012 r. ustanawiające wymagania techniczne i procedury administracyjne odnoszące się do operacji lotniczych zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008. Dostępny online: <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/rozporzadzenie-965-2012-ustanawiajace-wymagania-techniczne-i-procedury-68250112> (dostęp: 09.03.2026).
44. Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze. Dostępny online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20021301112> (dostęp: 09.03.2026).
45. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 19 listopada 2013 r. w sprawie obsługi naziemnej w portach lotniczych. Dostępny online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20130001378> (dostęp: 09.03.2026).
46. Urząd Lotnictwa Cywilnego. Zezwolenia na obsługę naziemną w portach lotniczych. Dostępny online: <https://ulc.gov.pl/regulacja-ryнку/zezwolenia/zezwolenia-na-obsługe-naziemna-w-portach-lotniczych> (dostęp: 09.03.2026).
47. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 grudnia 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie certyfikacji działalności w lotnictwie cywilnym. Dostępny online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20220002768> (dostęp: 09.03.2026).
48. Castro, P. (2022). EU airport ground handling directive or when discretion interferes with public duty: A proposal on how to save Portugal's transposition from discretion. *Case Studies on Transport Policy*, 10(3), 1473–1482. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.05.014>
49. Long, A. (2024). Negotiating Ground-handling Agreements with Destination Airports. *Strategies for Sustainable Air Services Development*, 182–204. <https://doi.org/10.4324/9780429260681-9>
50. Bakır, M., Özdemir, E., & Akan, Ş. (2021). A novel MADM approach to the ground-handling agent selection problem in B2B markets. *Journal of Advances in Management Research*, 18(5), 684–707. <https://doi.org/10.1108/jamr-05-2020-0069>
51. Nowakowski, T. (2011). Niezawodność systemów logistycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej: Wrocław, 2011; ISBN 9788374935944.

52. Cempel, C. (2006). Teoria i inżynieria systemów : zasady i zastosowania myślenia systemowego: dla studentów wydziałów politechnicznych. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB.
53. Powierża, L., & Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. (1997). Elementy inżynierii systemów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
54. Burduk, A. (2010). Próba adaptacji szeregowych struktur niezawodnościowych do analizy i oceny ryzyka systemów produkcyjnych. *Eksploatacja i Niezawodność*, nr 3, s. 85–96.
55. Kornatka, M. (2022). Niezawodność i jakość energii. W Odnawialne źródła energii. Politechnika Częstochowska. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, s. 77–108.
56. Nowakowski, T. (2011). Problemy modelowania niezawodności systemów wielofazowych. *Eksploatacja i Niezawodność*. nr 4, s. 79–84.
57. Młynarski, S. (2014). Niezawodność strukturalna w systemach logistycznych ratownictwa. *Logistyka*, nr.4.
58. Kierzkowski, A., Kisiel, T., & Mardeusz, E. (2025). Analysis of the timeliness of the aircraft ground handling process using the PERT method. *Transportation Research Procedia*, 91, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.10.011>
59. Advances in Air Traffic Engineering. (2021). In A. Kwasiborska, J. Skorupski, & I. Yatskiv (Eds.), *Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-70924-2>
60. Kozłowski, M., Kruk, A., Stelmach A., et al. (2018). Identyfikacja struktury krytycznych punktów procesu obsługi naziemnej samolotu. *WJTE*, 122, 49-62. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.4501>.
61. Macha, E., Niesłony, A., & Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej. (2010). *Niezawodność systemów mechatronicznych*. Politechnika Opolska. Oficyna Wydawnicza
62. Słowiński, B., Wydawnictwo Uczelniane Wydawca, & Politechnika Koszalińska Instytucja sprawcza. (2011). Inżynieria eksploatacji maszyn (Wyd. I.). Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej.
63. Czechowski, A. (2016). Wybrane terminy i definicje związane z analizą i projektowaniem konstrukcji budowlanych, zwłaszcza metalowych. *Inżynieria i Budownictwo*. T. 72. Nr. 10. s. 563–568.
64. Chamier-Gliszczyński, N. (2010). Analiza cyklu życia obiektów technicznych w transporcie. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*. T. 11. Nr. 6.
65. Dziaduch, I. (2021). The degree of sustainable development principles implementation in transportation based on an economic analysis of rail buses' life cycle. *Ekonomia i Środowisko - Economics and Environment*, 78(3), 8–29. <https://doi.org/10.34659/2021/3/18>
66. Moczarski, M. (2009). Podejście systemowe przy rozwiązywaniu problemów obsługi obiektów technicznych. *Problemy Kolejnictwa*. T. 149. s. 67–88.
67. Młyńczak, M.(2012). Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
68. Sowa, A. (2019). Teoria eksploatacji i diagnostyka pojazdów szynowych: zagadnienia wybrane. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej Wydawca..
69. Hagspihl, T., Kolisch, R., Fontaine, P., & Schiffels, S. (2024). Apron layout planning—Optimal positioning of aircraft stands. *Transportation Research Part B: Methodological*, 179, 102854. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2023.102854>

70. Ma, H.-L., Sun, Y., Chung, S.-H., & Chan, H. K. (2022). Tackling uncertainties in aircraft maintenance routing: A review of emerging technologies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 164, 102805. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102805>
71. Gruszka, J., & Tytyk, E. (2018). Problemy ergonomiczne i jakościowe w różnych fazach istnienia wyrobów technicznych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej Organizacja i Zarządzanie*, 77, 65–83. <https://doi.org/10.21008/j.0239-9415.2018.077.05>
72. Shen, C.-W., Peng, Y.-T., & Tu, C.-S. (2019). Multi-Criteria Decision-Making Techniques for Solving the Airport Ground Handling Service Equipment Vendor Selection Problem. *Sustainability*, 11(12), 3466. <https://doi.org/10.3390/su11123466>
73. Paś, J. (2017). The model of controlling exploitation process of complex technical object. *Bulletin of the Military University of Technology*, 66(1), 127–138. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.9489>
74. Zhang, Y., Li, S., Blythe, P., & Edwards, S. (2026). Accelerating airport decarbonisation: Qualitative investigation of stakeholders' perceptions and requirements towards hydrogen-powered ground support equipment. *Journal of the Air Transport Research Society*, 6, 100097. <https://doi.org/10.1016/j.jatrs.2025.100097>
75. Ajayi, A., Luk, P. C.-K., Lao, L., & Khan, M. F. (2023). Energy Forecasting Model for Ground Movement Operation in Green Airport. *Energies*, 16(13), 5008. <https://doi.org/10.3390/en16135008>
76. Nowakowski, W., Bojarczak, P., & Łukasik, Z. (2019). Method of importing operational data of railway traffic control devices into the database. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 24(6), 223–228. <https://doi.org/10.24136/atest.2019.155>
77. Kuroda, Y., Sato, S., & Hanaoka, S. (2024). Measurement of Driving Conditions of Aircraft Ground Support Equipment at Tokyo International Airport. *Aerospace*, 11(11), 873. <https://doi.org/10.3390/aerospace11110873>
78. Zhang, T., Zhang, Z., & Zhu, X. (2023). Detection and Control Framework for Unpiloted Ground Support Equipment within the Aircraft Stand. *Sensors*, 24(1), 205. <https://doi.org/10.3390/s24010205>
79. Li, J., & Dong, X. (2024). Intelligent Surveillance of Airport Apron: Detection and Location of Abnormal Behavior in Typical Non-Cooperative Human Objects. *Applied Sciences*, 14(14), 6182. <https://doi.org/10.3390/app14146182>
80. Wilczarska, J., Tylicki, H. (2005). Wykorzystanie aproksymacji i interpolacji modelu stanu maszyn w procesie genezowania. *Diagnostyka*. T. 33. s. 285–289.
81. Kobaszyńska-Twardowska, A., & Wantuła, M. (2023). Hazard identification at airport ground handling locations. *WUT Journal of Transportation Engineering*, 136, 49–60. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.4050>
82. Gładys, S., Kwasiborska, A., Postół, J. (2022). Determination Of The Impact Of Disruptions In Ground Handling On Aircraft Fuel Consumption. *Transport Problems*, 17(2), 115–126. <https://doi.org/10.20858/tp.2022.17.2.10>
83. Lyu, Z., & Luo, J. (2022). A Surveillance Video Real-Time Object Detection System Based on Edge-Cloud Cooperation in Airport Apron. *Applied Sciences*, 12(19), 10128. <https://doi.org/10.3390/app121910128>
84. Yang, Z., Chen, Y., & Song, Y. (2022). Departure Delay Prediction and Analysis Based on Node Sequence Data of Ground Support Services for Transit Flights. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4178087>

85. Liu, C., Chen, Y., Wang, H., Zhang, Y., Dai, X., Luo, Q., & Chen, L. (2023). Airport flight ground service time prediction with missing data using graph convolutional neural network imputation and bidirectional sliding mechanism. *Applied Soft Computing*, 133, 109941. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109941>
86. Żak, J. (2019). Optymalizacja systemu obsługi technicznej statków powietrznych w funkcji intensywności ich użytkowania, ITWL, Warszawa 2019.
87. Wandelt, S., & Wang, K. (2024). Towards solving the airport ground workforce dilemma: A literature review on hiring, scheduling, retention, and digitalization in the airport industry. *Journal of the Air Transport Research Society*, 2, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.jatrs.2024.100004>
88. Tao, Y.-J., Lee, H.-S., & Tu, C.-S. (2021). Analytic Hierarchy Process-Based Airport Ground Handling Equipment Purchase Decision Model. *Sustainability*, 13(5), 2540. <https://doi.org/10.3390/su13052540>
89. Conde, J., Munoz-Arcenales, A., Romero, M., Rojo, J., Salvachúa, J., Huecas, G., & Alonso, ekÁ. (2022). Applying digital twins for the management of information in turnaround event operations in commercial airports. *Advanced Engineering Informatics*, 54, 101723. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101723>
90. Ścieszka, S. F., Żołnierz, M., & Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. (2012). Eksploatacja maszyn. Cz. 2, Budowa systemu i zarządzanie systemem eksploatacji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
91. Karim, A. Z. A., Osman, M. S., & Rahmat, Mohd. K. (2025). A Review on Risk and Reliability Analysis in Photovoltaic Power Generation. *Energies*, 18(14), 3790. <https://doi.org/10.3390/en18143790>
92. Wang, S., Tomovic, M., & Liu, H. (2016). Comprehensive Reliability Design of Aircraft Hydraulic System. *Commercial Aircraft Hydraulic Systems*, 115–169. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-419972-9.00003-6>
93. Daniewski, K., Kosicka, E., & Mazurkiewicz, D. (2018). Analysis of the correctness of determination of the effectiveness of maintenance service actions. *Management and Production Engineering Review*, 9(2), 20–25. <https://doi.org/10.24425/119522>
94. Antosz, K., & Stadnicka, D. (2015). Evaluation measures of machine operation effectiveness in large enterprises: study results. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 17(1), 107–117. <https://doi.org/10.17531/ein.2015.1.15>
95. Li, Y., Feng, Y., Xue, X., & Lu, C. (2017). A United Allocation Method of Spare Parts and Ground Maintenance Equipment for Civil Aircraft. *MATEC Web of Conferences*, 114, 03006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711403006>
96. Gabrella, I., Haryadi, I., & Callista, A. B. (2023). Aviobridge maintenance management: a solution for cabin curtain damage. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, 3(2), 75–81. <https://doi.org/10.52989/jaet.v3i2.101>
97. Łukasik, Z., & Olszańska, S. (2016). Wpływ przeglądów technicznych na bezpieczeństwo w transporcie drogowym. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 17(10), 120–123.
98. Alaswad, S., & Xiang, Y. (2017). A review on condition-based maintenance optimization models for stochastically deteriorating system. *Reliability Engineering & System Safety*, 157, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.08.009>
99. Rausand, M. (1998). Reliability centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 60(2), 121–132. [https://doi.org/10.1016/s0951-8320\(98\)83005-6](https://doi.org/10.1016/s0951-8320(98)83005-6)
100. Blichke, W. R., & Murthy, D. N. P. (2000). Reliability. *Wiley Series in Probability and Statistics*. <https://doi.org/10.1002/9781118150481>

101. Zhao, J, Gao, C & Tang, T. (2022). A Review of Sustainable Maintenance Strategies for Single Component and Multicomponent Equipment, *Sustainability*, vol. 14, no. 5. <http://dx.doi.org/10.3390/su14052992>
102. Werbińska, S. (2008). Model of logistic support for operational system of transport mode. Politechnika Wroclawska.
103. Mołęda, M., Małysiak-Mrozek, B., Ding, W., Sunderam, V., & Mrozek, D. (2023). From Corrective to Predictive Maintenance—A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry. *Sensors*, 23(13), 5970. <https://doi.org/10.3390/s23135970>
104. Wang, C.-N., Hsueh, M.-H., Tran Thi, D.-O., Le, T. D.-M., & Dinh, Q.-T. (2025). Optimal Maintenance Strategy Selection for Oil and Gas Industry Equipment Using a Combined Analytical Hierarchy Process–Technique for Order of Preference by Similarity to an Ideal Solution: A Case Study in the Oil and Gas Industry. *Processes*, 13(5), 1389. <https://doi.org/10.3390/pr13051389>
105. Simões, J. M., Gomes, C. F., & Yasin, M. M. (2011). A literature review of maintenance performance measurement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(2), 116–137. <https://doi.org/10.1108/13552511111134565>
106. Franciosi, C., Tortora, A. M. R., & Miranda, S. (2023). A Maintenance Maturity and Sustainability Assessment Model for Manufacturing Systems. *Management and Production Engineering Review*, 137–155. <https://doi.org/10.24425/mper.2023.145372>
107. Breznická, A., Kohutiar, M., Krbat'a, M., Eckert, M., & Mikuš, P. (2023). Reliability Analysis during the Life Cycle of a Technical System and the Monitoring of Reliability Properties. *Systems*, 11(12), 556. <https://doi.org/10.3390/systems11120556>
108. Pirbhulal, S., Gkioulos, V., & Katsikas, S. (2021). A Systematic Literature Review on RAMS analysis for critical infrastructures protection. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 33, 100427. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100427>
109. Kruk, Z. (2021). Markov model of the operations & maintenance process of vehicles scheduled to be Operated. *Journal of KONBiN*, 51(1), 213–223. <https://doi.org/10.2478/jok-2021-0014>
110. Migawa, K., Borowski, S., Neubauer, A., & Sołtysiak, A. (2021). Semi-Markov Model of the System of Repairs and Preventive Replacements by Age of City Buses. *Applied Sciences*, 11(21), 10411. <https://doi.org/10.3390/app112110411>
111. Kumar, G., Jain, V., & Gandhi, O. P. (2017). Availability analysis of mechanical systems with condition-based maintenance using semi-Markov and evaluation of optimal condition monitoring interval. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(1), 119–131. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0212-z>
112. Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., Salehi, N., & Firoozi, M. (2015). Condition-based maintenance effectiveness for series–parallel power generation system—A combined Markovian simulation model. *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.04.009>
113. Kozłowski, E., Borucka, A., Oleszczuk, P., & Jałowicz, T. (2023). Evaluation of the maintenance system readiness using the semi-Markov model taking into account hidden factors. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 25(4). <https://doi.org/10.17531/ein/172857>
114. Kou, L., Chu, B., Chen, Y., & Qin, Y. (2022). An Automatic Partition Time-Varying Markov Model for Reliability Evaluation. *Applied Sciences*, 12(12), 5933. <https://doi.org/10.3390/app12125933>

115. Muślewski, Ł., Lewalski, M., & Migawa, K. (2015). Efektywnościowa Analiza Jakości Działania Wybranego Systemu Transportowego Z Zastosowaniem Modelu Semi-Markowa. *Journal of KONBiN*, 33(1), 187–196. <https://doi.org/10.1515/jok-2015-0016>
116. Cesaro, A., & Pacciarelli, D. (2011). Performance assessment for single echelon airport spare part management. *Computers & Industrial Engineering*, 61(1), 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.03.005>
117. Kumar, G., Loganathan, M. K., & Yadav, O. (2023). Semi-Markov modeling applications in system availability analysis. *Engineering Reliability and Risk Assessment*, 161–184. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91943-2.00012-5>
118. Muślewski, Ł. (2010). Fuzzy Interpretation of a Transport System Operation Quality Assessment. *Journal of Konbin*, 14–15(2010), 117–133. <https://doi.org/10.2478/v10040-008-0170-z>
119. Gharib, H., & Kovács, G. (2024). Implementation and Possibilities of Fuzzy Logic for Optimal Operation and Maintenance of Marine Diesel Engines. *Machines*, 12(6), 425. <https://doi.org/10.3390/machines12060425>
120. Zeng, F., Su, W., Chen, J., Jiao, H., Liu, C., & Xia, S. (2022). Operation Status Evaluation of Distribution Automation System Based on Q-rung Orthopair Fuzzy Set. 2022 Power System and Green Energy Conference (PSGEC), 882–889. <https://doi.org/10.1109/psgec54663.2022.9881158>
121. Bukowski, L., & Werbińska-Wojciechowska, S. (2021). Using fuzzy logic to support maintenance decisions according to Resilience-Based Maintenance concept. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 23(2), 294–307. <https://doi.org/10.17531/ein.2021.2.9>
122. Wang, L., Gao, Y., Xu, W., Hong, K., Wang, B., & Chen, X. (2019). An Extended FMECA Method and Its Fuzzy Assessment Model for Equipment Maintenance Management Optimization. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19(2), 350–360. <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00611-3>
123. Pająk, M. (2018). Fuzzy identification of a threat of the inability state occurrence. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(3), 3593–3604. <https://doi.org/10.3233/jifs-18121>
124. Moreira, J. J. do A., Brito Junior, J. de A., Nascimento, M. H. R., & Leite, J. C. (2024). Application of Fuzzy inference systems for preliminary analysis of the technical requirements of permission holders for the repair and maintenance of regulated measuring instruments. *Revista de Gestão e Secretariado*, 15(6), e3947. <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i6.3947>
125. Bukowski, L. (2016). System of systems dependability – Theoretical models and applications examples. *Reliability Engineering & System Safety*, 151, 76–92. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.10.014>
126. Tsuji, D., Fujita, J., Matsumoto, N., Tamura, Y., Doenhoff, J., & Shigemoto, T. (2023). 3-layer modelling method to improve the cyber resilience in Industrial Control Systems. *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 16(1), 63–74. <https://doi.org/10.1080/18824889.2023.2177074>
127. Sarwar, A., Khan, F., James, L., & Abimbola, M. (2018). Integrated offshore power operation resilience assessment using Object Oriented Bayesian network. *Ocean Engineering*, 167, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.08.052>
128. Liu, J., Xu, R., Li, J., Ge, B., Yang, K., & Zhang, X. (2023). The Optimization of Equipment System-ofsystems Resilience Protection based on Reinforcement Learning.

- 2023 9th International Conference on Big Data and Information Analytics (BigDIA), 315–321. <https://doi.org/10.1109/bigdia60676.2023.10429625>
129. Zhang, N., & Alipour, A. (2020). Multi-scale robustness model for highway networks under flood events. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102281. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102281>
 130. Bukowski, L., & Werbinska-Wojciechowska, S. (2025). Towards Maintenance 5.0: Resilience-Based Maintenance in AI-Driven Sustainable and Human-Centric Industrial Systems. <https://doi.org/10.20944/preprints202507.0345.v1>
 131. Nagurney, A., & Qiang, Q. (2007). Robustness of transportation networks subject to degradable links. *Europhysics Letters (EPL)*, 80(6), 68001. <https://doi.org/10.1209/0295-5075/80/68001>
 132. Hu, Z., & Mahadevan, S. (2016). Resilience Assessment Based on Time-Dependent System Reliability Analysis. Volume 2A: 42nd Design Automation Conference. <https://doi.org/10.1115/detc2016-59184>
 133. Afrin, T., & Yodo, N. (2019). Resilience-Based Recovery Assessments of Networked Infrastructure Systems under Localized Attacks. *Infrastructures*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.3390/infrastructures4010011>
 134. Wei, D., & Ji, K. (2010). Resilient industrial control system (RICS): Concepts, formulation, metrics, and insights. 2010 3rd International Symposium on Resilient Control Systems, 15–22. <https://doi.org/10.1109/isrcs.2010.5603480>
 135. Hemmati, N., Rahiminezhad Galankashi, M., Imani, D. M., & Mokhatab Rafiei, F. (2019). An integrated fuzzy-AHP and TOPSIS approach for maintenance policy selection. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 37(9/10), 1275–1299. <https://doi.org/10.1108/ijqrm-10-2018-0283>
 136. Zang, D., & Tian, C. (2023). Operation Effectiveness Evaluation of a New Engineering Vehicle Based on Grey-AHP. 2023 International Conference on Computer Engineering and Distance Learning (CEDL), 69–74. <https://doi.org/10.1109/cedl60560.2023.00021>
 137. Ayalew, G. G., Meharie, M. G., & Worku, B. (2022). A road maintenance management strategy evaluation and selection model by integrating Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods: The case of Ethiopian Roads Authority. *Cogent Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2146628>
 138. Duan, X., Long, C., Feng, S., Luo, R., Gao, Y., & Sun, Y. (2019). Status Evaluation of Power F Equipment Based on Big Data of Monitoring. 2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 944–949. <https://doi.org/10.1109/isgt-asia.2019.8880945>
 139. Ding, R., Zhang, Z., & Xia, Z. (2020). Research on Evaluation Index of Equipment Operation and Maintenance System Based on FAHP. 2020 12th International Conference on Intelligent *Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*, 188–191. <https://doi.org/10.1109/ihmsc49165.2020.10121>
 140. Yong-Ping, G., Juan-Yun, C., Xue-Wu, W., Zhi-Guang, C., Kai, F., & Yuan-Chao, H. (2023). Research on Operation State Evaluation of Power Plant Key Transformer Equipment Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. 2023 International Conference on Cyber-Physical Social Intelligence (ICCSI), 610–615. <https://doi.org/10.1109/iccsi58851.2023.10304026>
 141. Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71–83. [https://doi.org/10.1016/s0951-8320\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/s0951-8320(00)00047-8)

142. Aizpurua, J. I., Catterson, V. M., Papadopoulos, Y., Chiacchio, F., & D'Urso, D. (2017). Supporting group maintenance through prognostics-enhanced dynamic dependability prediction. *Reliability Engineering & System Safety*, 168, 171–188. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.04.005>
143. Santoso Puteri, N. A., & Indriawati, K. (2025). Application of Remaining Useful Life Prediction on Railway Traction System to Support Condition Based Maintenance. 2025 8th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), 110–115. <https://doi.org/10.1109/icevt67191.2025.11183995>
144. Zhang, W., Zhang, N., Yu, J., Yang, W., Zhang, W., Sun, Z., & Wang, T. (2024). 3D Model State Prediction System of Substation Equipment Based on Artificial Intelligence and Digital Twin Technology. 2024 IEEE 6th International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS), 1228–1232. <https://doi.org/10.1109/icpics62053.2024.10796713>
145. Fan, M., Peng, G., Zhang, B., Zhou, M., & Jia, S. (2021). Operation State Assessment and Prediction of Distribution Transformer Based on Data Driven. 2021 IEEE 10th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS), 715–721. <https://doi.org/10.1109/ddcls52934.2021.9455610>
146. Tianshan, G., & Bo, G. (2016). Failure rate prediction of substation equipment combined with grey linear regression combination model. 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ichve.2016.7800850>
147. Yan, J., Koç, M., & Lee, J. (2004). A prognostic algorithm for machine performance assessment and its application. *Production Planning & Control*, 15(8), 796–801. <https://doi.org/10.1080/09537280412331309208>
148. Cheng, Y., Zhou, Z., Li, R., Li, J., Wang, J., & Pei, X. (2020). Reliability Prediction and Safety Evaluation of ATC Automation System. 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT), 969–972. <https://doi.org/10.1109/iccasit50869.2020.9368710>
149. Li, X., Pan, S., Chen, Y., Zhang, L., & Mao, Z. (2024). An Online Assessment Method for System Energy Supply Security Based on Energy Big Data. 2024 International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), 16–22. <https://doi.org/10.1109/aeeca62331.2024.00013>
150. Angel A, S., R, J., N, V., & Singh, C. J. P. (2026). Task-Based Human Reliability Analysis for Submersible Operations Using Consensus Evaluation and Weibull-Enhanced SPAR-H. *IEEE Transactions on Reliability*, 75, 74–86. <https://doi.org/10.1109/tr.2025.3629870>
151. Li, C., & Mu, Z. (2023). Analysis Platform of Rail Transit Vehicle Signal System Based on Data Mining. *Informatica*, 47(3). <https://doi.org/10.31449/inf.v47i3.3942>
152. Cheng, H., Zuo, Y. hong, Geng, G., Xia, S., & Zhou, C. (2023). Research on Manufacturing Equipment Operation State Evaluation Technology Based on Fractional Calculus. *Sensors* 2023, 23, 3373, doi:10.3390/s23073373.
153. Singh, A., Asjad, M., Singh, Y. V., & Alam, S. (2023). Machine Configuration Based on Machine Reliability and Production Rate Criteria Through Line Balancing Algorithm in Reconfigurable Manufacturing System (RMS). *Recent Advances in Intelligent Manufacturing*, 157–175. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1308-4_14
154. Zhao, J., Qi, H., & Zhang, Y. (2010). Modeling and assessing a new warship maintenance system. *Journal of Marine Science and Application*, 9(1), 69–74. <https://doi.org/10.1007/s11804-010-8064-6>

155. Bolacell, G. S., Da Rosa, M. A., Da Silva, A. M. L., Vieira, P. C. C., & Carvalho, L. D. M. (2022). Probabilistic Dynamic Line Rating Applied to Multi-Area Systems Reliability Evaluation. 2022 17th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/pmaps53380.2022.9810566>
156. Sitnik, LJ, Magdziak-Tokłowicz, M & Andrych-Zalewska, M (2017). The Assessment Method of Operation Fuel Consumption of Underground Machinery’, Proceedings of the 13th International Scientific Conference, Springer International Publishing, pp. 515–525, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-50938-9_53
157. Muślewski, L., Woropay, M., & Bojar, P. (2012). The Evaluation Method of Human–Machine–Environment Systems Operation Quality. *Engineering Asset Management and Infrastructure Sustainability*, 675–691. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-493-7_52
158. Fang, H., Liao, J., Huang, S., & Zhang, M. (2024). Research on Status Assessment and Operation and Maintenance of Electric Vehicle DC Charging Stations Based on XGboost. *Smart Cities*, 7(6), 3055–3070. <https://doi.org/10.3390/smartcities7060119>
159. Liu, G., Ping, C., Mu, S., Mansuer, D., Liu, J., & Lv, Q. (2024). Research on the Operation Reliability Evaluation Method of Offshore Power System. 2024 International Symposium on Electrical, Electronics and Information Engineering (ISEEIE), 429–436. <https://doi.org/10.1109/iseeie62461.2024.00085>
160. Weng, Z., Zhou, J., & Zhan, Z. (2022). Reliability Evaluation of Standalone Microgrid Based on Sequential Monte Carlo Simulation Method. *Energies*, 15(18), 6706. <https://doi.org/10.3390/en15186706>
161. Shalev, D. M., Tiran, J., Katoshevski, D., & Bortman, J. (2016). Condition Based Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (CB-RAMS) model: Improving RAMS predictions by combining condition-monitoring (CM) data with RAMS calculations. PHM Society European Conference, 3(1). <https://doi.org/10.36001/phme.2016.v3i1.1590>
162. Zhang, J., Fang, Z., & Dong, W. (2025). A novel equipment contribution evaluation framework for ESoS from a comprehensive perspective. *Expert Systems with Applications*, 265, 126042. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.126042>
163. Van Horenbeek, A., & Pintelon, L. (2014). Development of a maintenance performance measurement framework—using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega*, 42(1), 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.006>
164. Figurski J., Kłosowski A., Sterniczuk E., Zólkowski J. (2015). Model oceny gotowości pojazdów specjalnych w sytuacjach kryzysowych. Wydział Logistyki WAT, Zeszyt 135, nr3.
165. Siergiejczyk, M. (2014). Efektywność eksploatacyjna systemu telematyki transportu w aspekcie niezawodności jego elementów. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*. z. 101, 125–136.
166. Zhao, Y., Cai, B., Zeng, T., He, Z., & Liu, Y. (2024). Sustainability evaluation of multi-component subsea transmission system considering failure dependence and maintenance activities. *Ocean Engineering*, 296, 116945. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116945>
167. Kierzkowski, A. (2013). Model procesu eksploatacji obiektu technicznego. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 14(3), 2193–2200.

168. Liljenström, C., Björklund, A., & Toller, S. (2022). Including maintenance in life cycle assessment of road and rail infrastructure—a literature review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(2), 316–341. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-02012-x>
169. Koper, K. (2012). Prezentacja wieloaspektowej oceny cyklu życia obiektu technicznego z uwzględnieniem współzależności pomiędzy aspektami. *Problemy Eksploatacji*, nr 1, 201–206.
170. Liu, G., Zhang, X., Qian, Z., Chen, L., & Bi, Y. (2023). Life cycle assessment of road network infrastructure maintenance phase while considering traffic operation and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 422, 138607. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138607>
171. Daskiran, F., Gulhan, H., Guven, H., Ozgun, H., & Ersahin, M. E. (2022). Comparative evaluation of different operation scenarios for a full-scale wastewater treatment plant: Modeling coupled with life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130864. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130864>
172. Garcia-Teruel, A., Rinaldi, G., Thies, P. R., Johanning, L., & Jeffrey, H. (2022). Life cycle assessment of floating offshore wind farms: An evaluation of operation and maintenance. *Applied Energy*, 307, 118067. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118067>
173. Li, J., Shi, C., Li, X., Zeng, D., Zhang, Y., Yu, X., Yan, S., & Li, Y. (2025). Dynamic Risk Assessment of Equipment Operation in Coalbed Methane Gathering Stations Based on the Combination of DBN and CSM Assessment Models. *Energies*, 18(19), 5161. <https://doi.org/10.3390/en18195161>
174. Yao, D., Li, Z., Liang, Y., Wang, J., Ke, J., Chuai, X., & Li, F. (2025). Research on Substation Risk Assessment Model Based on Enhanced Convolutional Neural Network. *Proceedings of the 10th International Conference on Cyber Security and Information Engineering*, 152–158. <https://doi.org/10.1145/3759179.3759269>
175. Li, Y., Dang, X., Yu, M., & Feng, T. (2024). Research on Safety Risk Assessment of Xi'an Metro Operation Based on Structural Equation Model (SEM)-Matter-Element Extension Model (MEA). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2679(1), 1558–1568. <https://doi.org/10.1177/03611981241255363>
176. Wu, X., Gao, Y., & Zheng, W. (2022). Study on risk assessment and factors ranking of the LTE-M communication system. *Transportation Safety and Environment*, 5(4). <https://doi.org/10.1093/tse/tdac067>
177. Wang, Y., Cheng, G., Hu, H., & Wu, W. (2012). Development of a risk-based maintenance strategy using FMEA for a continuous catalytic reforming plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(6), 958–965. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.05.009>
178. Khan, F. I., & Haddara, M. M. (2003). Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), 561–573. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2003.08.011>
179. Sobral, J., & Ferreira, L. (2015). Establishment of optimal physical assets inspection frequency based on risk principles. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 17(2), 243–249. <https://doi.org/10.17531/ein.2015.2.11>
180. Owczarek, P. (2024). Ocena efektywności eksploatacji pojazdów dostawczych i bezpieczeństwa realizacji zadań przewozowych w przedsiębiorstwach transportowych

- z wykorzystaniem analizy wskaźnikowej. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, 2024(1), 50–61. <https://doi.org/10.33226/1231-2037.2024.1.5>
181. Zhang, Y., Zhao, Z., Ren, W., Zhou, Y., Zhao, X., & Zhao, Y. (2025). Evaluation method of operation and maintenance effectiveness level based on DPSIR model. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 16(9), 3168–3177. <https://doi.org/10.1007/s13198-025-02851-z>
 182. Zheng, H., Zhang, K., Wu, C., Li, J., Yang, B., Wu, G., & Liu, B. (2025). Evaluating High-Speed Rail Operation Safety through an Integrated Framework: A Case Study in China. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. <https://doi.org/10.1177/03611981251384961>
 183. Viveros Gunckel, P., Crespo Márquez, A., Barberá Martínez, L., & González, J. P. (2017). A Graphical Method to Support Operation Performance Assessment. *Advanced Maintenance Modelling for Asset Management*, 349–369. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58045-6_15
 184. Michłowicz, E. (2022). Assessment of the modernized production system through selected TPM method indicators. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 24(4), 677–686. <https://doi.org/10.17531/ein.2022.4.8>
 185. Ma, L., Liu, W., Chen, H., Cui, Y., Wang, Y., & Yuan, S. (2018). Operation Efficiency Evaluation Frame and Its Criteria for Distribution Network Based on Annual Load Duration Curve. 2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), 373–378. <https://doi.org/10.1109/isgt-asia.2018.8467851>
 186. Duer, S. (2020). Assessment of the Operation Process of Wind Power Plant's Equipment with the Use of an Artificial Neural Network. *Energies*, 13(10), 2437. <https://doi.org/10.3390/en13102437>
 187. Bojar, P., Woropay, M., & Szubartowski, M. (2013). The Method of the Evaluation of Transport Systems Operation Safety. *Archives of Transport*, 25-26(1-2), 43–54.
 188. Loska, A., & Dąbrowski, M. (2014). Modelowanie oceny polityki eksploatacyjnej sieciowego systemu technicznego w oparciu o metody taksonomii numerycznej. W R. Knosala (redaktor), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. 2 (s. 700–713). Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją.
 189. Schultz, M. (2018). A metric for the real-time evaluation of the aircraft boarding progress. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 86, 467–487. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.11.002>
 190. Kwasiborska, A., & Postół, J. (2021). Modeling of Ground Handling Processes in Simio Software. *Advances in Air Traffic Engineering*, 57–75. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70924-2_6
 191. Kaya, G. K., Humphreys, M., Camelia, F., & Chatzimichailidou, M. (2025). Integrating causal analysis based on system theory with network modelling to enhance accident analysis. *Ergonomics*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/00140139.2025.2516060>
 192. Ertek, A., & Taşçı, D. (2026). Competitive advantage in the aviation in the context of resource dependence theory: The case of ground handling services. *Transport Policy*, 177, 103942. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.103942>
 193. Alonso Tabares, D., & Mora-Camino, F. (2021). Intelligent and Fuzzy Applications in Aircraft Handling Services with Aviation 4.0. *Intelligent and Fuzzy Techniques in Aviation 4.0*, 175–199. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75067-1_8
 194. Maciejewska, M., & Kurzawska-Pietrowicz, P. (2025). Towards Sustainable Airport Operations: Emission Analysis of Taxiing Solutions. *Sustainability*, 17(18), 8242. <https://doi.org/10.3390/su17188242>

195. Kurzweil, L., & Kolářová, L. (2026). Shifting readiness of Prague Airport for safe operations of autonomous tow tractors. *Transportation Research Procedia*, 94, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2026.01.011>
196. Yıldız, M., Mutlu, S., Nagy, A., & Kale, U. (2023). Solar energy for the airport ground support equipment – a quantitative study. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95(5), 831–837. <https://doi.org/10.1108/aeat-08-2022-0211>
197. You, C.-T., Yu, C.-Y., Chen, L.-B., & Kuo, S.-Y. (2025). Intelligent Ground Operations at Airports: A Study on the Implementation of Smart Underground Fueling Systems for Aircraft. 2025 IEEE 14th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 495–496. <https://doi.org/10.1109/gcce65946.2025.11275134>
198. Chen, Z., Chong, X., Liu, C., Qiao, Y., Wang, G., & Tan, W. (2024). An Airfield Area Layout Efficiency Analysis Method Based on Queuing Network and Machine Learning. *Buildings*, 14(3), 628. <https://doi.org/10.3390/buildings14030628>
199. Tang, X., Ye, M., Zhang, S., & Fuellhart, K. (2024). Prediction of Taxi-in Time and Analysis of Influencing Factors for Arrival Flights at Airport with a Decentralised Terminal Layout. *Promet – Traffic & Transportation*, 36(4), 623–638. <https://doi.org/10.7307/ptt.v36i4.437>
200. Liu, C., Zhang, Y., Chen, Y., Liu, S., Hu, S., Luo, Q., & Chen, L. (2024). Digital Twin-Enabled Delay Diagnosis Traceability and Propagation Process for Airport Flight Ground Service. *International Journal of Intelligent Systems*, 2024(1). Portico. <https://doi.org/10.1155/int/7458758>
201. Durmaz, V., Yazgan, E., & Kucuk Yilmaz, A. (2021). Ergonomic Risk Factors in Ground Handling Operations to Improve Corporate Performance. *International Journal of Aviation Science and Technology*, vm02(is02), 82–90. *Internet Archive*. <https://doi.org/10.23890/ijast.vm02is02.0205>
202. Musa, M., & Isha, A. S. N. (2020). Substantial effect of voluntary policy interventions on aircraft ground handling safety. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101895. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101895>
203. Gołda, P., Kowalski, M., Wasser, C., Dygnatowski, P., & Szporoka, A. (2019). Elements of the model positioning of aircraft on the apron. *Archives of Transport*, 51(3), 101–108. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.6166>
204. Lu, J., Pang, T., Lu, X., Ji, J., & Jiang, C. (2025). Harnessing digital twin technology for enhanced aircraft turnaround efficiency. *Transport Economics and Management*, 3, 334–345. <https://doi.org/10.1016/j.team.2025.09.001>
205. Tang, X., Wu, J., Wu, C.-L., Ding, Y., & Zhang, S. (2025). Dynamic prediction of aircraft turnaround milestone times using a cascaded gradient boosting model for improved airport collaborative decision-making. *Journal of Air Transport Management*, 128, 102842. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102842>
206. Bergmann, J., & Hub, M. (2025). Approach to Optimize the Airplane Boarding Process by Using Image Recognition and Stochastic Simulation to Predict Overhead Bin Fill Levels. *SAE Technical Paper Series*, 1. <https://doi.org/10.4271/2025-01-0164>
207. Al-Qatawneh, L., Arafah, M., Barghash, M., Shihabeddin, F., Mahmoud, S., & Odeh, A. (2025). Improving baggage handling time at an international airport using Six Sigma methodology: A case study in the Middle East region. *International Journal of Engineering Business Management*, 17. <https://doi.org/10.1177/18479790251322345>
208. Li, C., Hu, M., Hu, Y., Zhao, Z., & Wang, Y. (2025). Enhancing Airport Resource Efficiency Through Statistical Modeling of Heavy-Tailed Service Durations: A Case

- Study on Potable Water Trucks. *Aerospace*, 12(7), 643. <https://doi.org/10.3390/aerospace12070643>
209. Zhang, S., Jiang, W., Yang, N., & Liu, Y. (2023). Analysis Service Process of Aircraft Turnaround Operations by Petri Net. *Journal of Physics: Conference Series*, 2491(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2491/1/012026>
 210. Płanda, B., & Skorupski, J. (2025). Model for Evaluation of Aircraft Boarding Under Disturbances. *Aerospace*, 12(5), 403. <https://doi.org/10.3390/aerospace12050403>
 211. Cui, Y., Ma, L., Ding, Q., He, X., Xiao, F., & Cheng, B. (2024). Aircraft turnaround time dynamic prediction based on Time Transition Petri Net. *PLOS ONE*, 19(7), e0305237. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305237>
 212. Nugroho, A. A., & Asrol, M. (2022). The Impact of Effectiveness of Luggage Arrangement on the Airplane Passengers' Boarding Process. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 50(4), 369–386. <https://doi.org/10.3311/pptr.19481>
 213. Płanda, B., & Skorupski, J. (2019). Analysis of Uncertainty as a Factor Influencing Aircraft Boarding Process Reliability. Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference (ESREL), 3055–3062. https://doi.org/10.3850/978-981-11-2724-3_0370-cd
 214. Štimac, I., Vidović, A., Mihetec, T., & Drljača, M. (2020). Optimization of Airport Capacity Efficiency by Selecting Optimal Aircraft and Airline Business Model. *Sustainability*, 12(10), 3988. <https://doi.org/10.3390/su12103988>
 215. Nosedal Sánchez, J., & Piera Eroles, M. A. (2017). Causal analysis of aircraft turnaround time for process reliability evaluation and disruptions' identification. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 6(2), 115–128. <https://doi.org/10.1080/21680566.2017.1325784>
 216. Studic, M., Majumdar, A., Schuster, W., & Ochieng, W. Y. (2017). A systemic modelling of ground handling services using the functional resonance analysis method. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 74, 245–260. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.11.004>
 217. Wilke, S., Majumdar, A., & Ochieng, W. Y. (2014). Airport surface operations: A holistic framework for operations modeling and risk management. *Safety Science*, 63, 18–33. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.10.015>
 218. Guardo-Martinez, E., Onggo, S., Kunc, M., Padrón, S., & Tomasella, M. (2026). Robust airline scheduling with turnaround under uncertainty: towards collaborative airline scheduling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 205, 104440. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104440>
 219. Zhou, P., Shen, Y., Zheng, Y., Zheng, Y., Guo, B., & Du, Y. (2025). A comprehensive review of ground support equipment scheduling for aircraft ground handling services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 203, 104341. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104341>
 220. Kuster, J., & Jannach, D. (2006). Handling Airport Ground Processes Based on Resource-Constrained Project Scheduling. *Advances in Applied Artificial Intelligence*, 166–176. https://doi.org/10.1007/11779568_20
 221. Andreatta, G., De Giovanni, L., & Monaci, M. (2014). A Fast Heuristic for Airport Ground-Service Equipment—and-Staff Allocation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 108, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.817>
 222. Mamdouh, M., Ezzat, M., & Hefny, H. A. (2020). Airport resource allocation using machine learning techniques. *Inteligencia Artificial*, 23(65), 19–32. <https://doi.org/10.4114/intartif.vol23iss65pp19-32>

223. Dupaquis, A., Guivarch, R., Mouysset, S., Ruiz, D., Charvillat, V., & Bouilhaguet, F. (2025). Assigning airport ground handling operations: a data-driven matheuristic. *International Transactions in Operational Research*, 33(1), 359–383. Portico. <https://doi.org/10.1111/itor.70034>
224. Zhou, J., Wu, Y., Cao, Z., Song, W., Zhang, J., & Chen, Z. (2023). Learning Large Neighborhood Search for Vehicle Routing in Airport Ground Handling. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 35(9), 9769–9782. <https://doi.org/10.1109/tkde.2023.3249799>
225. Wu, Y., Zhou, J., Xia, Y., Zhang, X., Cao, Z., & Zhang, J. (2023). Neural Airport Ground Handling. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(12), 15652–15666. <https://doi.org/10.1109/tits.2023.3253552>
226. Padrón, S., & Guimarans, D. (2019). An Improved Method for Scheduling Aircraft Ground Handling Operations From a Global Perspective. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 36(04), 1950020. <https://doi.org/10.1142/s0217595919500209>
227. Yao, M., Hu, M., Yin, J., Su, J., & Yin, M. (2024). A Two-Stage Optimization Model for Airport Stand Allocation and Ground Support Vehicle Scheduling. *Applied Sciences*, 14(23), 11407. <https://doi.org/10.3390/app142311407>
228. van der Zwan, M., Ermiş, G., & Sharpanskykh, A. (2025). Multi-agent task allocation and path planning for autonomous ground support equipment. *Journal of Air Transport Management*, 129, 102855. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102855>
229. Had, P., Tolar, D., Volt, J., & Stojić, S. (2023). Optimization of the Airport's Airbridge Operations and Internal Setting. 2023 New Trends in Aviation Development (NTAD), 89–94. <https://doi.org/10.1109/ntad61230.2023.10380162>
230. Malandri, C., Mantecchini, L., & Reis, V. (2019). Aircraft turnaround and industrial actions: How ground handlers' strikes affect airport airside operational efficiency. *Journal of Air Transport Management*, 78, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.04.007>
231. Weigert, D., Rettmann, A., Alomar, I., & Tolujew, J. (2018). Shortening the turnaround times of aircraft by improving ground handling processes through a simulation study. 2018 4th *International Conference on Logistics Operations Management (GOL)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/gol.2018.8378081>
232. Kierzkowski, A., & Kisiel, T. (2016). A Simulation Model of Aircraft Ground Handling: Case Study of the Wrocław Airport Terminal. *Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 37th International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2016 – Part III*, 109–125. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46589-0_9
233. Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Mazzuto, G., & Paciarotti, C. (2014). The impact of business growth in the operation activities: a case study of aircraft ground handling operations. *Production Planning & Control*, 26(7), 564–587. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.939234>
234. Schultz, M., & Reitmann, S. (2019). Machine learning approach to predict aircraft boarding. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 98, 391–408. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.09.007>
235. Alomar, I., Tolujevs, J., & Medvedevs, A. (2017). Simulation of Ground Vehicles Movement on the Aerodrome. *Procedia Engineering*, 178, 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.061>

236. Tang, X., Wu, J., Wu, C.-L., & Zhang, S. (2024). Mechanism Analysis of the Impact of COVID-19 on the Whole Process of Aircraft Turnaround Operations. *Journal of Advanced Transportation*, 2024(1). Portico. <https://doi.org/10.1155/2024/9635616>
237. Guimarans, D., & Padrón, S. (2022). A stochastic approach for planning airport ground support resources. *International Transactions in Operational Research*, 29(6), 3316–3345. Portico. <https://doi.org/10.1111/itor.13104>
238. Antonio, A. S., Juan, A. A., Calvet, L., Fonseca i Casas, P., & Guimarans, D. (2017). Using simulation to estimate critical paths and survival functions in aircraft turnaround processes. 2017 Winter Simulation Conference (WSC). <https://doi.org/10.1109/wsc.2017.8248055>
239. Wu, C., & Caves, R. E. (2004). Modelling and simulation of aircraft turnaround operations at airports. *Transportation Planning and Technology*, 27(1), 25–46. <https://doi.org/10.1080/0308106042000184445>
240. Christoffels, L., Gluchshenko, O., (2022). Influence of demand pattern on relation between overall turnaround time and average gate occupation depending on available resources, Proceedings of 33rd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2022.
241. Abd Allah Makhloof, M., Elsayed Waheed, M., & El-Raouf Badawi, U. A. (2012). Real-time aircraft turnaround operations manager. *Production Planning & Control*, 25(1), 2–25. <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.655800>
242. Han, T.-C., Chung, C.-C., & Liang, G.-S. (2006). Application of fuzzy critical path method to airports cargo ground operation systems. *Journal of Marine Science and Technology*, 14(3). <https://doi.org/10.51400/2709-6998.2067>
243. Jalilvand, A., Christino, L., & Paulovich, F. V. (2023). Serviz: A Visual Analytics System for the Analysis of Sequential Rules and its Application to Airport Ground Handling Operations. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4341080>
244. Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Mazzuto, G., & Paciarotti, C. (2013). A BPR approach for ground handling process: a case study. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), 180–185. <https://doi.org/10.3182/20130522-3-br-4036.00063>
245. Evler, J., Lindner, M., Fricke, H., & Schultz, M. (2022). Integration of turnaround and aircraft recovery to mitigate delay propagation in airline networks. *Computers & Operations Research*, 138, 105602. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105602>
246. Chen, S.-T., Ermiş, G., & Sharpanskykh, A. (2023). Multi-agent planning and coordination for automated aircraft ground handling. *Robotics and Autonomous Systems*, 167, 104480. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104480>
247. Bao, D.-W., Zhou, J.-Y., Kang, D., & Chen, Z. (2025). Optimization model for electric aircraft tow tractors scheduling under operator cooperation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 172, 105032. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2025.105032>
248. Evler, J., Asadi, E., Preis, H., & Fricke, H. (2021). Airline ground operations: Schedule recovery optimization approach with constrained resources. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 128, 103129. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103129>
249. Weiszer, M., Chen, J., & Locatelli, G. (2015). An integrated optimisation approach to airport ground operations to foster sustainability in the aviation sector. *Applied Energy*, 157, 567–582. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.039>
250. Kwasiborska, A., & Kądzioła, K. (2023). Application of causal analysis of disruptions and the functional resonance analysis method (fram) in analyzing the risk

- of the baggage process. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 119, 63–81. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.119.4>
251. Liptáková, D., Kolesár, J., Jenčová, E., & Begera, V. (2018). Identification and evaluation of safety risks on aprons. *New Trends in Civil Aviation*, 133–138. <https://doi.org/10.1201/9781351238649-22>
 252. Muecklich, N., Sikora, I., Paraskevas, A., & Padhra, A. (2023). The role of human factors in aviation ground operation-related accidents/incidents: A human error analysis approach. *Transportation Engineering*, 13, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100184>
 253. Kucuk Yilmaz, A. (2019). Strategic approach to managing human factors risk in aircraft maintenance organization: risk mapping. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91(4), 654–668. <https://doi.org/10.1108/aeat-06-2018-0160>
 254. Skorupski, J., Grabarek, I., Kwasiborska, A., & Czyżo, S. (2020). Assessing the suitability of airport ground handling agents. *Journal of Air Transport Management*, 83, 101763. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101763>
 255. Chikha, P., & Skorupski, J. (2022). The risk of an airport traffic accident in the context of the ground handling personnel performance. *Journal of Air Transport Management*, 105, 102295. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102295>
 256. Musa, M., & Isha, A. S. N. (2021). Holistic view of safety culture in aircraft ground handling: Integrating qualitative and quantitative methods with data triangulation. *Journal of Air Transport Management*, 92, 102019. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102019>
 257. Laskowski, D.; Burdzik, R.; Łubkowski, P.; Konieczny, Ł. (2015). Vibration effect on the anthropo-technical systems reliability. *Vibroengineering Procedia*, T. 6, pp. 166–170.
 258. Loska, A. (2017). scenario modeling exploitation decision-making process in technical network systems. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, 19(2), 268–278. <https://doi.org/10.17531/ein.2017.2.15>
 259. Ziółkowski, J., Małachowski, J., Oszczywała, M., Szkutnik-Rogoż, J., & Lęgas, A. (2021). Modelling of the Military Helicopter Operation Process in Terms of Readiness. *Defence Science Journal*, 71(5), 602–611. <https://doi.org/10.14429/dsj.71.16422>
 260. Wing, Mr. A. K., Cloutier, R. J., & Felder, W. N. (2015). Ramp Area Support System: Limitations of Modeling Approach to an Airport Apron Area. *Procedia Computer Science*, 44, 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.068>
 261. Ravizza, S., Chen, J., Atkin, J. A. D., Stewart, P., & Burke, E. K. (2014). Aircraft taxi time prediction: Comparisons and insights. *Applied Soft Computing*, 14, 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.10.004>
 262. Bukowski, L., & Werbinska-Wojciechowska, S. (2025). Towards Maintenance 5.0: Resilience-Based Maintenance in AI-Driven Sustainable and Human-Centric Industrial Systems. <https://doi.org/10.20944/preprints202507.0345.v1>
 263. IATA. Aviation Ground Handling Report. Dostępny online: <https://www.iata.org/en/training/pages/aviation-ground-handling-report/?utm> (dostęp: 02.04.2026).
 264. Standard IATA Delay Codes (AHM730). Dostępny online: <https://ansperformance.eu/library/iata-delay-codes.pdf> (dostęp: 06.04.2026).
 265. Airbus. Aircraft characteristics airport and maintenance planning. Dostępny online: https://www.aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2023-12/ac_a321_1223.pdf?utm (dostęp: 17.01.2026).

SPIS RYSUNKÓW

| | |
|--|-----|
| Rysunek 2.1. Elementy wpływające na funkcjonowanie systemu technicznego. | 25 |
| Rysunek 3.1. Zestawienie wskaźników analizowanych w literaturze w zakresie oceny eksploatacji obiektów technicznych. | 55 |
| Rysunek 5.1. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia <i>i</i> -tej czynności. | 66 |
| Rysunek 5.2. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej czas trwania <i>i</i> –tej czynności. | 68 |
| Rysunek 5.3. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej wskaźnik czasu trwania <i>i</i> -tej czynności. | 69 |
| Rysunek 5.4. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej terminowość zatrzymania statku powietrznego <i>i</i> -tej czynności. | 70 |
| Rysunek 5.5. Struktura gotowości obiektów technicznych obsługi naziemnej. | 71 |
| Rysunek 5.6. Struktura gotowości operatorów obsługi naziemnej. | 73 |
| Rysunek 5.7. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej gotowość. | 75 |
| Rysunek 5.8. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej ocenę procesu obsługi naziemnej. | 76 |
| Rysunek 5.9. Struktura modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. | 77 |
| Rysunek 5.10. Struktura modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. | 78 |
| Rysunek 5.11. Model oceny dla czynności nieobjętych instrukcją operacyjną. | 81 |
| Rysunek 5.12. Model oceny dla czynności objętych instrukcją operacyjną. | 81 |
| Rysunek 5.13. Struktura modelu oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego. | 82 |
| Rysunek 5.14. Struktura modelu oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej statku powietrznego. | 91 |
| Rysunek 5.15. Struktura modelu oceny procesu obsługi technicznej statku powietrznego. | 104 |
| Rysunek 5.16. Struktura modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. | 122 |
| Rysunek 6.1. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia <i>i</i> -tej czynności. | 124 |
| Rysunek 6.2. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej czas trwania podłączania urządzeń obsługi naziemnej. | 125 |
| Rysunek 6.3. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej czas trwania odłączania urządzeń obsługi naziemnej. | 126 |
| Rysunek 6.4. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej czas trwania wypychania statku powietrznego. | 127 |
| Rysunek 6.5. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej wskaźnik czasu trwania <i>i</i> -tej czynności. | 128 |
| Rysunek 6.6. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej terminowość zatrzymania statku powietrznego dla <i>i</i> -tej czynności. | 130 |
| Rysunek 6.7. Funkcje przynależności dla zmiennej definiującej gotowość. | 131 |
| Rysunek 6.8. Funkcje przynależności dla zmiennej wyjściowej definiującej ocenę. | 132 |
| Rysunek 6.9. Wykres powierzchniowy oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. | 133 |

| | |
|---|-----|
| Rysunek 7.1. Schemat rozmieszczenia urządzeń obsługi naziemnej dla statku powietrznego Airbus A321..... | 137 |
| Rysunek 7.2. Harmonogram procesu obsługi naziemnej statku powietrznego Airbus A321. | 138 |
| Rysunek 7.3. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych Airbus A321 – scenariusz 1..... | 139 |
| Rysunek 7.4. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych Airbus A321 – scenariusz 2..... | 142 |
| Rysunek 7.5. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych – porównanie scenariusza 1 i 2..... | 143 |
| Rysunek 7.6. Harmonogram procesu obsługi naziemnej dla statków powietrznych Airbus A321 – scenariusz 3..... | 147 |
| Rysunek 7.7. Harmonogram procesu obsługi naziemnej statku powietrznego 2: scenariusz 1 i scenariusz 3..... | 148 |
| Rysunek 7.8. Harmonogram procesu obsługi naziemnej statku powietrznego 3: scenariusz 1 i scenariusz 3..... | 148 |

SPIS TABEL

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1. Definicje systemu użytkowania, systemu obsługi oraz otoczenia eksploatacji..... | 20 |
| Tabela 3.1. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – modele markowa obiektów technicznych..... | 27 |
| Tabela 3.2. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – zbiory rozmyte w ocenie obiektów technicznych..... | 29 |
| Tabela 3.3. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – odporność obiektów technicznych..... | 30 |
| Tabela 3.4. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – analityczny proces hierarchiczny obiektów technicznych..... | 31 |
| Tabela 3.5. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – narzędzia prognostyczne w ocenie obiektów technicznych. | 32 |
| Tabela 3.6. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – algorytmy oceny obiektów technicznych. | 33 |
| Tabela 3.7. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – modelowanie procesów eksploatacji obiektów technicznych. | 34 |
| Tabela 3.8. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – ocena cyklu życia obiektów technicznych..... | 36 |
| Tabela 3.9. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – analiza ryzyka. | 37 |
| Tabela 3.10. Przegląd literatury oceny systemów eksploatacji obiektów technicznych – pozostałe podejścia w zakresie oceny funkcjonowania obiektów technicznych..... | 38 |
| Tabela 3.11. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu projektowania procesów obsługi naziemnej. | 40 |
| Tabela 3.12. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu wydajności procesów obsługi naziemnej..... | 43 |
| Tabela 3.13. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu problemu trasowania i harmonogramowania procesów obsługi naziemnej..... | 46 |
| Tabela 3.14. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu modelowania procesów obsługi naziemnej. | 48 |
| Tabela 3.15. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu planowania procesów obsługi naziemnej..... | 51 |
| Tabela 3.16. Podsumowanie przeglądu literatury z zakresu oceny czynnika ludzkiego w procesie obsługi naziemnej..... | 54 |
| Tabela 5.1. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym..... | 78 |
| Tabela 5.2. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym..... | 80 |
| Tabela 5.3. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego. | 90 |
| Tabela 5.4. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu rozładunku i załadunku statku powietrznego. | 97 |
| Tabela 5.5. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego..... | 103 |
| Tabela 5.6. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 5.7. Zestaw reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu sprzątania i obsługi cateringu statku powietrznego. | 116 |
| Tabela 5.8. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny procesu tankowania statku powietrznego. | 119 |
| Tabela 5.9. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny obsługi technicznej statku powietrznego. | 121 |
| Tabela 5.10. Zestaw przykładowych reguł wnioskowania rozmytego modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym. | 123 |
| Tabela 6.1. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia i-tej czynności. | 123 |
| Tabela 6.2. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej wskaźnik czasu trwania i-tej czynności. | 127 |
| Tabela 6.3. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej terminowość zatrzymania statku powietrznego dla i-tej czynności. | 128 |
| Tabela 6.4. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej gotowość. | 130 |
| Tabela 6.5. Opinie ekspertów dla zmiennej definiującej zmienną wyjściową ocena. ... | 131 |
| Tabela 6.6. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 1. | 134 |
| Tabela 6.7. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 2. | 134 |
| Tabela 6.8. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 3. | 134 |
| Tabela 6.9. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 4. | 134 |
| Tabela 6.10. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 5. | 135 |
| Tabela 6.11. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 6. | 135 |
| Tabela 6.12. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 7. | 135 |
| Tabela 6.13. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 8. | 135 |
| Tabela 6.14. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 9. | 136 |
| Tabela 6.15. Weryfikacja modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – 10. | 136 |
| Tabela 7.1. Dane dotyczące oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 1. | 140 |
| Tabela 7.2. Wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 1. | 140 |
| Tabela 7.3. Dane dotyczące gotowości obiektów technicznych w porcie lotniczym – scenariusz 1. | 141 |
| Tabela 7.4. Dane dotyczące gotowości operatorów w porcie lotniczym – scenariusz 1. | 141 |
| Tabela 7.5. Wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 1. | 141 |
| Tabela 7.6. Wyniki modelu oceny procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – scenariusz 1. | 142 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 7.7. Dane dotyczące oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 2..... | 143 |
| Tabela 7.8. Wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 2..... | 144 |
| Tabela 7.9. Dane dotyczące gotowości obiektów technicznych w porcie lotniczym – scenariusz 2..... | 145 |
| Tabela 7.10. Dane dotyczące gotowości operatorów w porcie lotniczym – scenariusz 2. | 145 |
| Tabela 7.11. Wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 2..... | 145 |
| Tabela 7.12. Wyniki modelu oceny systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – scenariusz 2. | 146 |
| Tabela 7.13. Dane dotyczące oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 3..... | 149 |
| Tabela 7.14. Wyniki modelu oceny operacyjnej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 3..... | 149 |
| Tabela 7.15. Dane dotyczące gotowości obiektów technicznych w porcie lotniczym – scenariusz 3..... | 150 |
| Tabela 7.16. Dane dotyczące gotowości operatorów w porcie lotniczym – scenariusz 3. | 150 |
| Tabela 7.17. Wyniki modelu oceny taktycznej procesu obsługi naziemnej statków powietrznych – scenariusz 3..... | 150 |
| Tabela 7.18. Wyniki modelu oceny systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statków powietrznych w porcie lotniczym – scenariusz 3. | 151 |

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 1. Reguły wnioskowania – model oceny systemu eksploatacji procesu obsługi naziemnej statku powietrznego w porcie lotniczym.

| |
|---|
| 1. Jeśli (Ocena OP jest niska) i (Ocena OT jest niska) to (Ocena SPON jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (Ocena OP jest niska) i (Ocena OT jest średnia) to (Ocena SPON jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (Ocena OP jest niska) i (Ocena OT jest wysoka) to (Ocena SPON jest średnia) (1) |
| 4. Jeśli (Ocena OP jest średnia) i (Ocena OT jest niska) to (Ocena SPON jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (Ocena OP jest średnia) i (Ocena OT jest średnia) to (Ocena SPON jest średnia) (1) |
| 6. Jeśli (Ocena OP jest średnia) i (Ocena OT jest wysoka) to (Ocena SPON jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (Ocena OP jest wysoka) i (Ocena OT jest niska) to (Ocena SPON jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (Ocena OP jest wysoka) i (Ocena OT jest średnia) to (Ocena SPON jest wysoka) (1) |
| 9. Jeśli (Ocena OP jest wysoka) i (Ocena OT jest wysoka) to (Ocena SPON jest wysoka) (1) |

Załącznik 2. Reguły wnioskowania – model oceny operacyjnej procesu obsługi statku powietrznego w porcie lotniczym.

| | |
|-----|---|
| 1. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 2. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 3. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 4. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 5. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 6. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 7. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 8. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 9. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 10. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 11. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 12. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest niska) (1) |
| 13. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 14. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 15. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 16. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 17. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest wysoka) (1) |
| 18. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest wysoka) (1) |
| 19. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest wysoka) (1) |
| 20. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest wysoka) (1) |
| 21. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 22. | Jeśli (Ocena PiW jest średnia) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest średnia) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 23. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest średnia) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 24. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 25. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 26. | Jeśli (Ocena PiW jest niska) i (Ocena PBSP jest wysoka) i (Ocena TeSP jest wysoka) to (Ocena OP jest średnia) (1) |
| 27. | Jeśli (Ocena PiW jest wysoka) i (Ocena PBSP jest niska) i (Ocena TeSP jest niska) to (Ocena OP jest niska) (1) |

Załącznik 3. Reguły wnioskowania – model oceny procesu podłączania urządzeń obsługi naziemnej.

| |
|--|
| 1. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |

| |
|--|
| 17. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 18. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest krótki) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest średni) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA PUON jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (PUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (PUON Czas trwania jest długi) i (PUON Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA PUON jest niska) (1) |

Załącznik 4. Reguły wnioskowania – model oceny procesu odłączania urządzeń obsługi naziemnej.

| |
|--|
| 1. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest niska) (1) |

| |
|--|
| 18. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest krótki) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest średni) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OUON jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OUON jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (OUON Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OUON Czas trwania jest długi) i (OUON Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OUON jest niska) (1) |

Załącznik 5. Reguły wnioskowania – model oceny procesu wypychania urządzeń obsługi naziemnej.

| |
|--|
| 1. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest niska) (1) |

| |
|--|
| 18. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest krótki) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest średni) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA WSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA WSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (WSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (WSP Czas trwania jest długi) i (WSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA WSP jest niska) (1) |

Załącznik 6. Reguły wnioskowania – model oceny procesu przygotowania i wypychania statku powietrznego.

| | |
|-----|--|
| 1. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 2. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 3. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 4. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 5. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 6. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 7. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 8. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 9. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 10. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 11. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 12. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest niska) (1) |
| 13. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 14. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 15. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 16. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 17. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest wysoka) (1) |
| 18. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest wysoka) (1) |
| 19. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest wysoka) (1) |
| 20. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest wysoka) (1) |
| 21. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 22. | Jeśli (Ocena PUON jest średnia) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest średnia) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 23. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest średnia) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 24. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 25. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 26. | Jeśli (Ocena PUON jest niska) i (Ocena OUON jest wysoka) i (Ocena WSP jest wysoka) to (Ocena PIW jest średnia) (1) |
| 27. | Jeśli (Ocena PUON jest wysoka) i (Ocena OUON jest niska) i (Ocena WSP jest niska) to (Ocena PIW jest niska) (1) |

Załącznik 7. Reguły wnioskowania – model oceny procesu rozładunku statku powietrznego.

| | |
|-----|--|
| 1. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest wysoka) (1) |
| 2. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest wysoka) (1) |
| 3. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest wysoka) (1) |
| 4. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest wysoka) (1) |
| 5. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest wysoka) (1) |
| 6. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest wysoka) (1) |
| 7. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 8. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 9. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 10. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 11. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 12. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 13. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 14. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 15. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 16. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 17. | Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość ładowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA RSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA RSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (RSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (RSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (RSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA RSP jest niska) (1) |

Załącznik 8. Reguły wnioskowania – model oceny procesu załadunku statku powietrznego.

| | |
|-----|--|
| 1. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest wysoka) (1) |
| 2. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest wysoka) (1) |
| 3. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest wysoka) (1) |
| 4. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest wysoka) (1) |
| 5. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest wysoka) (1) |
| 6. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest wysoka) (1) |
| 7. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 8. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 9. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 10. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 11. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 12. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 13. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 14. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 15. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 16. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 17. | Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (ZaSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (ZaSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (ZaSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA ZaSP jest niska) (1) |

Załącznik 9. Reguły wnioskowania – model oceny procesu rozładunku i załadunku statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (Ocena RSP jest niska) i (Ocena ZaSP jest niska) to (Ocena RiZaSP jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (Ocena RSP jest niska) i (Ocena ZaSP jest średnia) to (Ocena RiZaSP jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (Ocena RSP jest niska) i (Ocena ZaSP jest wysoka) to (Ocena RiZaSP jest średnia) (1) |
| 4. Jeśli (Ocena RSP jest średnia) i (Ocena ZaSP jest niska) to (Ocena RiZaSP jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (Ocena RSP jest średnia) i (Ocena ZaSP jest średnia) to (Ocena RiZaSP jest średnia) (1) |
| 6. Jeśli (Ocena RSP jest średnia) i (Ocena ZaSP jest wysoka) to (Ocena RiZaSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (Ocena RSP jest wysoka) i (Ocena ZaSP jest niska) to (Ocena RiZaSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (Ocena RSP jest wysoka) i (Ocena ZaSP jest średnia) to (Ocena RiZaSP jest wysoka) (1) |
| 9. Jeśli (Ocena RSP jest wysoka) i (Ocena ZaSP jest wysoka) to (Ocena RiZaSP jest wysoka) (1) |

Załącznik 10. Reguły wnioskowania – model oceny procesu deboardingu pasażerów statku powietrznego.

| | |
|-----|--|
| 1. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest wysoka) (1) |
| 2. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest wysoka) (1) |
| 3. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest wysoka) (1) |
| 4. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest wysoka) (1) |
| 5. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest wysoka) (1) |
| 6. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest wysoka) (1) |
| 7. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 8. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 9. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 10. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 11. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 12. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 13. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 14. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 15. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 16. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 17. | Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA DSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA DSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (DSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (DSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (DSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA DSP jest niska) (1) |

Załącznik 11. Reguły wnioskowania – model oceny procesu boardingu pasażerów statku powietrznego.

| | |
|-----|--|
| 1. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest wysoka) (1) |
| 2. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest wysoka) (1) |
| 3. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest wysoka) (1) |
| 4. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest wysoka) (1) |
| 5. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest wysoka) (1) |
| 6. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest wysoka) (1) |
| 7. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 8. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 9. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 10. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 11. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 12. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 13. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 14. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 15. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 16. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 17. | Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA BSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA BSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (BSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (BSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (BSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA BSP jest niska) (1) |

Załącznik 12. Reguły wnioskowania – model oceny procesu deboardingu i boardingu statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (Ocena DSP jest niska) i (Ocena BSP jest niska) to (Ocena DiBSP jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (Ocena DSP jest niska) i (Ocena BSP jest średnia) to (Ocena DiBSP jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (Ocena DSP jest niska) i (Ocena BSP jest wysoka) to (Ocena DiBSP jest średnia) (1) |
| 4. Jeśli (Ocena DSP jest średnia) i (Ocena BSP jest niska) to (Ocena DiBSP jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (Ocena DSP jest średnia) i (Ocena BSP jest średnia) to (Ocena DiBSP jest średnia) (1) |
| 6. Jeśli (Ocena DSP jest średnia) i (Ocena BSP jest wysoka) to (Ocena DiBSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (Ocena DSP jest wysoka) i (Ocena BSP jest niska) to (Ocena DiBSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (Ocena DSP jest wysoka) i (Ocena BSP jest średnia) to (Ocena DiBSP jest wysoka) (1) |
| 9. Jeśli (Ocena DSP jest wysoka) i (Ocena BSP jest wysoka) to (Ocena DiBSP jest wysoka) (1) |

Załącznik 13. Reguły wnioskowania – model oceny procesu obsługi toalet statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (OTSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OTSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OTSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OTSP jest niska) (1) |

Załącznik 14. Reguły wnioskowania – model oceny procesu obsługi wody statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |

| |
|--|
| 18. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest krótki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (OWSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OWSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OWSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźnienie) to (OCENA OWSP jest niska) (1) |

Załącznik 15. Reguły wnioskowania – model oceny procesu obsługi toalet i wody statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (OCENA OTSP jest niska) i (OCENA OWSP jest niska) to (OCENA OTiOWSP jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (OCENA OTSP jest niska) i (OCENA OWSP jest średnia) to (OCENA OTiOWSP jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (OCENA OTSP jest niska) i (OCENA OWSP jest wysoka) to (OCENA OTiOWSP jest średnia) (1) |
| 4. Jeśli (OCENA OTSP jest średnia) i (OCENA OWSP jest niska) to (OCENA OTiOWSP jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (OCENA OTSP jest średnia) i (OCENA OWSP jest średnia) to (OCENA OTiOWSP jest średnia) (1) |
| 6. Jeśli (OCENA OTSP jest średnia) i (OCENA OWSP jest wysoka) to (OCENA OTiOWSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (OCENA OTSP jest wysoka) i (OCENA OWSP jest niska) to (OCENA OTiOWSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (OCENA OTSP jest wysoka) i (OCENA OWSP jest średnia) to (OCENA OTiOWSP jest wysoka) (1) |
| 9. Jeśli (OCENA OTSP jest wysoka) i (OCENA OWSP jest wysoka) to (OCENA OTiOWSP jest wysoka) (1) |

Załącznik 16. Reguły wnioskowania – model oceny procesu sprzątania statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA SSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA SSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (SSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (SSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (SSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA SSP jest niska) (1) |

Załącznik 17. Reguły wnioskowania – model oceny procesu obsługi cateringowej statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (OCSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (OCSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (OCSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA OCSP jest niska) (1) |

Załącznik 18. Reguły wnioskowania – model oceny procesu sprzątania i obsługi cateringu statku powietrznego.

| |
|---|
| 1. Jeśli (OCENA (SSP jest niska) i (OCENA OCSP jest niska) to (OCENA SiOCSP jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (OCENA (SSP jest niska) i (OCENA OCSP jest średnia) to (OCENA SiOCSP jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (OCENA (SSP jest niska) i (OCENA OCSP jest wysoka) to (OCENA SiOCSP jest średnia) (1) |
| 4. Jeśli (OCENA (SSP jest średnia) i (OCENA OCSP jest niska) to (OCENA SiOCSP jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (OCENA (SSP jest średnia) i (OCENA OCSP jest średnia) to (OCENA SiOCSP jest średnia) (1) |
| 6. Jeśli (OCENA (SSP jest średnia) i (OCENA OCSP jest wysoka) to (OCENA SiOCSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (OCENA (SSP jest wysoka) i (OCENA OCSP jest niska) to (OCENA SiOCSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (OCENA (SSP jest wysoka) i (OCENA OCSP jest średnia) to (OCENA SiOCSP jest wysoka) (1) |
| 9. Jeśli (OCENA (SSP jest wysoka) i (OCENA OCSP jest wysoka) to (OCENA SiOCSP jest wysoka) (1) |

Załącznik 19. Reguły wnioskowania – model oceny procesu tankowania statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest wysoka) (1) |
| 2. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest wysoka) (1) |
| 3. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA TSP jest wysoka) (1) |
| 4. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest wysoka) (1) |
| 5. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest wysoka) (1) |
| 6. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA TSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest niskie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 11. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 13. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest niska) (1) |

| |
|---|
| 18. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest średnie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony to (OCENA TSP jest niska) (1) |
| 19. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 20. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest niska) (1) |
| 21. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest niski) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony to (OCENA TSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest niska) (1) |
| 23. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest niska) (1) |
| 24. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest średni) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony to (OCENA TSP jest niska) (1) |
| 25. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest przed czasem) to (OCENA TSP jest niska) (1) |
| 26. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest punktualnie) to (OCENA TSP jest niska) (1) |
| 27. Jeśli (TSP Odchylenie od najwcześniejszej możliwej chwili rozpoczęcia czynności jest wysokie) i (TSP Wskaźnik czasu trwania jest wysoki) i (TSP Terminowość lądowania statku powietrznego jest opóźniony to (OCENA TSP jest niska) (1) |

Załącznik 20. Reguły wnioskowania – model oceny procesu obsługi pasażersko-bagażowej statku powietrznego.

| |
|---|
| 1. Jeśli (OCENA RiZaSP jest niska) i (OCENA DiBSP jest niska) to (OCENA OPBSP jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (OCENA RiZaSP jest niska) i (OCENA DiBSP jest średnia) to (OCENA OPBSP jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (OCENA RiZaSP jest niska) i (OCENA DiBSP jest wysoka) to (OCENA OPBSP jest średnia) (1) |
| 4. Jeśli (OCENA RiZaSP jest średnia) i (OCENA DiBSP jest niska) to (OCENA OPBSP jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (OCENA RiZaSP jest średnia) i (OCENA DiBSP jest średnia) to (OCENA OPBSP jest średnia) (1) |
| 6. Jeśli (OCENA RiZaSP jest średnia) i (OCENA DiBSP jest wysoka) to (OCENA OPBSP jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (OCENA RiZaSP jest wysoka) i (OCENA DiBSP jest niska) to (OCENA OPBSP jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (OCENA RiZaSP jest wysoka) i (OCENA DiBSP jest średnia) to (OCENA OPBSP jest wysoka) (1) |
| 9. Jeśli (OCENA RiZaSP jest wysoka) i (OCENA DiBSP jest wysoka) to (OCENA OPBSP jest wysoka) (1) |

Załącznik 21. Reguły wnioskowania – model oceny procesu obsługi technicznej statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 4. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 6. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 7. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 8. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 9. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 10. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 11. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 12. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |
| 13. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 14. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 15. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 16. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 17. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest wysoka) (1) |
| 18. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest wysoka) (1) |
| 19. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest wysoka) (1) |
| 20. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest wysoka) (1) |
| 21. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 22. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest średnia) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest średnia) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 23. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest średnia) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 24. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 25. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 26. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest niska) i (OCENA SIOCSP jest wysoka) i (OCENA TSP jest wysoka) to (OCENA TeSP jest średnia) (1) |
| 27. Jeśli (OCENA OTiOWSP jest wysoka) i (OCENA SIOCSP jest niska) i (OCENA TSP jest niska) to (OCENA TeSP jest niska) (1) |

Załącznik 22. Reguły wnioskowania – model oceny taktycznej systemu eksploatacji procesu obsługi technicznej statku powietrznego.

| |
|--|
| 1. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest niska) i (Gotowość personelu jest niska) to (Ocena Taktyczna jest niska) (1) |
| 2. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest niska) i (Gotowość personelu jest średnia) to (Ocena Taktyczna jest niska) (1) |
| 3. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest niska) i (Gotowość personelu jest wysoka) to (Ocena Taktyczna jest średnia) (1) |
| 4. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest średnia) i (Gotowość personelu jest niska) to (Ocena Taktyczna jest niska) (1) |
| 5. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest średnia) i (Gotowość personelu jest średnia) to (Ocena Taktyczna jest średnia) (1) |
| 6. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest średnia) i (Gotowość personelu jest wysoka) to (Ocena Taktyczna jest wysoka) (1) |
| 7. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest wysoka) i (Gotowość personelu jest niska) to (Ocena Taktyczna jest średnia) (1) |
| 8. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest wysoka) i (Gotowość personelu jest średnia) to (Ocena Taktyczna jest wysoka) (1) |
| 9. Jeśli (Gotowość obiektów technicznych jest wysoka) i (Gotowość personelu jest wysoka) to (Ocena Taktyczna jest wysoka) (1) |