

**SECURITY
CHECK**



Piotr Uchroński

**Modelowanie procesów
oceny bezpieczeństwa
i przepustowości
na lotniskach cywilnych**

Wydawnictwo Naukowe Akademii WSB

Modelowanie procesów
oceny bezpieczeństwa i przepustowości
na lotniskach cywilnych

Piotr Uchroński

Modelowanie procesów oceny bezpieczeństwa i przepustowości na lotniskach cywilnych

Dąbrowa Górnicza 2021

Piotr Uchroński, *Modelowanie procesów oceny bezpieczeństwa
i przepustowości na lotniskach cywilnych*

Recenzenci

prof. dr hab. inż. Bogusław Łazarz

dr hab. inż. Anna Stelmach, prof. PW

dr hab. inż. Ján Piľa

Korekta

Anna Zdonek

Projekt okładki

Wojciech Ciągło Studio DTP

DTP publikacji

Wojciech Ciągło Studio DTP, www.dtp-studio.pl

ISBN 978-83-66794-41-2

Wydawca

Akademia WSB

ul. Ciepłaka 1c, 41-300 Dąbrowa Górnicza

tel. (32) 295 93 59

e-mail: wydawnictwo@wsb.edu.pl

www.wsb.edu.pl

© Copyright by Akademia WSB

Kopiowanie w całości lub we fragmentach zabronione

Dąbrowa Górnicza 2021

Druk

TOTEM.com.pl



Ministerstwo
Edukacji i Nauki

„Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa
Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 018/RID/2018/19 kwota finansowania 10 788 423,16 zł”

Spis treści

Wprowadzenie	11
Wstęp	13
1. Elementy systemu ochrony lotnictwa cywilnego	15
1.1. Ogólna struktura systemu	15
1.2. Uwarunkowania prawne działania systemu zabezpieczeń lotniska	16
1.2.1. Prawo międzynarodowe	17
1.2.2. Prawo krajowe	20
1.3. Kontrola bagażu rejestrowanego	22
1.3.1. Urządzenia rentgenowskie do kontroli bagażu	24
1.3.2. Oprogramowanie urządzeń rentgenowskich – system TIP	29
1.4. Kontrola bagażu podręcznego	30
1.5. Kontrola osób	32
1.6. Człowiek jako element systemu kontroli bagażu w porcie lotniczym	36
1.6.1. Przyczyny błędów operatora systemu	38
1.6.2. Typy błędów operatorów kontroli bezpieczeństwa	39
1.6.3. Kontrola manualna	40
1.7. Ochrona zewnętrzna (peryferyjna)	41
1.8. Kultura bezpieczeństwa	43
2. Problem oceny skuteczności systemu kontroli bagażu i osób w kontekście przepustowości portu lotniczego	45
2.1. Analiza literaturowa	45
2.2. Ocena urządzeń	49
2.3. Metodyka badań	51
2.4. Problematyka zagadnienia	54
2.5. Zakres wykonanych badań	55

3. Systemy wnioskowania rozmytego jako narzędzie służące do oceny skuteczności kontroli bezpieczeństwa	57
3.1. Wprowadzenie	57
3.2. Zbiory rozmyte	58
3.3. Definicja zbioru rozmytego	58
3.4. Operacje na zbiorach rozmytych	62
3.5. Zmienna lingwistyczna	64
3.6. Systemy wnioskowania rozmytego	66
3.7. Ogólna koncepcja wykorzystania systemów wnioskowania rozmytego do analizy skuteczności kontroli bezpieczeństwa	70
4. Symulacyjna analiza przepustowości i skuteczności punktu kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym wykorzystującego WTMD i body skaner	73
4.1. Model przepływu pasażerów przez punkt kontroli bezpieczeństwa ...	80
4.1.1. Przepływ pasażerów – bramka do wykrywania metali	80
4.1.2. Przepływ pasażerów – niejonizujące urządzenie do prześwietlania osób	83
4.2. Analiza danych wejściowych	86
4.2.1. Implementacja modelu w postaci kolorowanej sieci Petriego ...	89
4.3. Walidacja modelu	93
4.4. Analiza przepustowości stanowiska do kontroli osób	95
4.5. Analiza skuteczności działania urządzenia do kontroli osób	96
4.5.1. Rozmyty model do oceny skuteczności detektorów przedmiotów zabronionych	97
4.5.2. Lokalny system wnioskowania rozmytego Wykrywalność	98
4.5.3. Lokalny system wnioskowania rozmytego <i>Procedury</i>	104
4.5.4. Baza wiedzy i postać zmiennej wyjściowej <i>Skuteczność kontroli</i>	106
4.5.5. Ocena skuteczności bramki WTMD i body skanera w kontroli bezpieczeństwa w warunkach nominalnych – przepływ standardowy	107
4.6. Eksperymenty symulacyjne	108
4.6.1. Scenariusz 1 – okres zimowy	109
4.6.2. Scenariusz 2 – podwyższone zagrożenie terrorystyczne	110

4.6.3. Scenariusz 3 – zagrożenie epidemiczne	113
4.6.4. Scenariusz 4 – zmiany w obsadzie PKB	115
4.7. Dyskusja wyników	117
5. Wielokryterialna grupowa ocena wariantów modernizacji systemu kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym	121
5.1. Punkt kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym	122
5.2. Uzasadnienie tematu	125
5.3. Metoda wielokryterialnej grupowej oceny systemu HBSS	126
5.4. Warianty systemu HBSS	127
5.5. Kryteria oceny wariantów	128
5.6. Metoda wielokryterialnej grupowej oceny wariantów w warunkach niepewności	131
5.7. Implementacja metody do oceny systemu HBSS	134
5.8. Ocena wariantów modernizacji systemu HBSS dla MPL Katowice	137
5.9. Eksperymenty symulacyjne	139
5.10. Analiza wyników	143
6. System wspomagania wyboru wariantu organizacji kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym	147
6.1. Wprowadzenie	147
6.2. Model do oceny systemu kontroli bagażu rejestrowanego	148
6.3. Dobór wariantu organizacji kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym	149
6.4. System wnioskowania rozmytego do oceny przepustowości i skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym ..	152
6.4.1. Ogólna struktura modelu rozmytego <i>Kontrola OKB</i>	152
6.4.2. Walidacja modelu <i>Kontrola OKB</i>	155
6.4.3. Zmienna wyjściowa <i>Bagaż rejestrowany</i>	158
6.4.4. Ocena procesu kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym	159
6.4.5. Przykładowa ocena systemu kontroli bagażu rejestrowanego	162

7. Ocena skuteczności i przepustowości kontroli bagażu kabinowego w porcie lotniczym	165
7.1. Ocena systemu kontroli bagażu podręcznego	168
7.1.1. Ogólna struktura modelu rozmytego <i>Bagaż podręczny</i>	168
7.1.2. Ogólna struktura modelu rozmytego <i>Kontrola manualna</i>	172
7.1.3. Zmienna wyjściowa <i>Kontrola manualna</i>	178
7.1.4. Walidacja modelu <i>Kontrola manualna</i>	179
7.1.5. Zmienna wyjściowa <i>Bagaż podręczny</i>	183
7.2. Ocena procesu kontroli bagażu podręcznego w porcie lotniczym ...	184
7.2.1. Przykładowa ocena skuteczności kontroli manualnej przy kontroli bagażu podręcznego	184
7.2.2. Przykładowa ocena systemu kontroli bagażu podręcznego w MPL Katowice-Pyrzowice	185
7.2.3. Dobór parametrów pracy systemu kontroli bagażu podręcznego	186
7.2.4. Analiza wpływu wprowadzenia stanu podwyższonego zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji	189
8. Analiza predyspozycji psychofizycznych osób wykonujących zadania operatorów kontroli bezpieczeństwa	193
8.1. Wprowadzenie	193
8.2. Narzędzie badawcze – Polipsychograf	196
8.3. Zależność skuteczności kontroli pasażerów i bagażu oraz przepustowości PKB od predyspozycji psychofizycznych pracowników	197
8.4. Badania z wykorzystaniem Polipsychografu	199
8.4.1. Pomiar czasu wykonanych testów	199
8.4.2. Analiza pomiarów błędnych odpowiedzi podanych przez pracowników	201
8.4.3. Analiza wpływu predyspozycji psychofizycznych OKB na skuteczność kontroli bezpieczeństwa	203
8.4.4. Walidacja wyników badań	206
9. Metoda wspierania planowania kadr służby ochrony lotniska	211
Wprowadzenie	211
9.1. Konfiguracja punktu kontroli bezpieczeństwa	213

9.2. Metody planowania obsady w PKB	216
9.3. Współczynnik absencji pracowniczej	218
9.4. Przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa	220
9.4.1. Przepustowość w punkcie kontroli bezpieczeństwa wyposażonym w WTMD	220
9.4.2. Przepustowość w punkcie kontroli bezpieczeństwa wyposażonym w body skaner	222
9.4.3. Czas kontroli bagażu podręcznego	224
9.5. Analiza i praktyczne zastosowanie wyników badań	225
9.5.1. Metoda wspomaganie obsady punktu kontroli wyposażonego w WTMD	225
9.5.2. Metoda wspomaganie obsady punktu kontroli bezpieczeństwa wyposażonego w body skaner	227
9.6. Ekspercka ocena narzędzia do wspomaganie i planowanie obsady w PKB	227
10. Podsumowanie i wnioski	229
10.1. Przepustowość kontroli bezpieczeństwa w kontekście zastosowania nowych technologii	229
10.2. Modernizacja systemu kontroli bagażu rejestrowanego	230
10.3. Wybór wariantu organizacji kontroli bagażu rejestrowanego	231
10.4. Kontrola bezpieczeństwa bagażu kabinowego	232
10.5. Wpływ czynnika ludzkiego na system ochrony lotnictwa cywilnego	233
10.6. Wpływ planowania kadr na ochronę lotnictwa cywilnego	233
10.7. Perspektywy dalszych badań	234
Bibliografia	237
Wykaz skrótów	253
Wykaz rysunków	255
Wykaz tabel	259

Wprowadzenie

W portach lotniczych wykonywana jest obsługa dwóch strumieni: statków powietrznych oraz pasażerów i ich bagażu. Elementem obsługi pasażerów i bagażu jest kontrola bezpieczeństwa. Jej celem jest wykrycie i wyeliminowanie z przewozu przedmiotów i substancji mogących stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa statku powietrznego i pasażerów. Przepisy międzynarodowe określają ramy tej kontroli, wyznaczając opisowo (jakościowo) warunki, jakie muszą zostać spełnione. Służby odpowiedzialne za te zadania mają możliwość doboru: liczby stanowisk kontroli, urządzeń, obsady personalnej punktów kontroli itp.

Powstaje więc problem decyzyjny jak skonfigurować punkt kontroli bezpieczeństwa, aby przy ograniczonych środkach na jego wyposażenie uzyskać jak najlepszą skuteczność działania, rozumianą jako zdolność do wykrycia przedmiotów zabronionych oraz przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa, a tym samym całego lotniska. Badania przedstawione w pracy pozwalają na ilościową ocenę skuteczności systemu kontroli osób i bagażu dla jego różnych konfiguracji, a także na ocenę przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa pozwalającej na weryfikację gotowości operacyjnej portu lotniczego.

Procesy, które są omawiane w tej pracy, charakteryzują się niepewną i nieprecyzyjną informacją. Systemy, w których te procesy zachodzą, są systemami antropotechnicznymi, o znacznej roli czynnika ludzkiego. Nie istnieje dotąd metoda pozwalająca stwierdzić, jaka liczba zabronionych przedmiotów, mimo kontroli, dostała się do samolotu. Ten fakt determinuje konieczność wykorzystywania wiedzy i subiektywnych ocen pochodzących od ekspertów. Oceny te zostały wykorzystane do stworzenia systemów eksperckich wspomagających zarządzanie organizacją procesu kontroli, zaimplementowanych jako systemy wnioskowania rozmytego.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że hierarchiczne systemy wnioskowania rozmytego są skutecznym narzędziem do oceny poziomu przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa oraz skuteczności działania SKB w porcie lotniczym. Wniosek ten można rozszerzyć na wszelkie systemy transportowe, w których informacja pochodzi z wielu źródeł o różnym stopniu wiarygodności, precyzji, kompletności i subiektywizmu. W części utylitarnej uzyskane wyniki pozwalają na bardziej racjonalną konfigurację elementów systemu kontroli osób i bagażu w porcie lotniczym.

Port lotniczy to lotnisko użytku publicznego wykorzystywane do lotów handlowych. Lotnisko natomiast to wydzielony obszar na lądzie, wodzie lub innej powierzchni w całości lub w części przeznaczony do wykonywania startów, lądowań i naziemnego lub nawodnego ruchu statków powietrznych, wraz ze znajdującymi się w jego granicach obiektami i urządzeniami budowlanymi o charakterze trwałym, wpisany do rejestru lotnisk (Prawo Lotnicze, 2002).

Port lotniczy składa się z wielu elementów, powiązanych licznymi relacjami wewnętrznymi, w których silnie zaznaczona jest rola czynnika ludzkiego. Stanowi on zatem złożony system antropotechniczny. Właściwe działanie portu lotniczego wymaga zapewnienia przez podmiot zarządzający odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Jednym z aspektów zapewniania bezpieczeństwa jest zabezpieczenie przed tzw. aktami bezprawnej ingerencji (ICAO, 2010). Realizacja tego celu musi jednakże uwzględniać dynamiczny rozwój lotnictwa cywilnego, co z kolei sprawia, że coraz większą rolę w omawianym aspekcie pełni przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa. W dotychczasowych badaniach nad zagadnieniem ciągłości działania portu lotniczego skupiano się głównie na problemie gotowości operacyjnej, czyli niezawodności poszczególnych elementów technicznych systemu, jaki stanowi port lotniczy, wraz z ich strukturą niezawodnościową i losowymi czynnikami zakłócającymi, np. warunkami meteorologicznymi (Kozłowski, 2004; Kozłowski i in., 2008; Malarski, 2006; Malarski i in., 2007; Manerowski i in., 1999; Kawalec i in., 2014; Siergiejczyk i in., 2015; Siergiejczyk i Krzykowska, 2015; Fellner i in., 2012; Weintrit, 2012). Stosunkowo niewielką uwagę poświęcano roli czynnika ludzkiego w zapewnieniu gotowości systemu. Jeszcze mniej badań poświęcono aspektowi celowego działania człowieka w kierunku obniżenia gotowości operacyjnej portu lotniczego, a także zagadnieniom przeciwdziałania takim zachowaniom.

Stan gotowości operacyjnej portu lotniczego można zdefiniować jako stan eksploatacyjny, w którym:

- możliwe jest kontynuowanie podejścia do lądowania i lądowanie,
- możliwa jest obsługa naziemna, w tym obsługa przedstartowa samolotów, obsługa pasażerów związana z ich przyjęciem na pokład samolotu oraz opuszczeniem samolotu po locie, wraz z przyjęciem i odbiorem bagażu,

- możliwe jest wykonywanie operacji odlotu po zakończeniu obsługi naziemnej, w sposób zgodny z planem, procedurami i przepisami ruchu lotniczego (Kozłowski, 2004).

Zarządzający portem lotniczym (ZPL) jest odpowiedzialny za utrzymanie portu lotniczego w stanie gotowości operacyjnej. Jednym ze szczegółowych zadań realizowanych przez ZPL jest skonfigurowanie systemu zabezpieczeń portu lotniczego (SZPL) tak, aby uzyskać oczekiwany poziom zaufania co do jego bezpieczeństwa i jednocześnie zapewnić jak największą wydajność procesu, przekładającą się na przepustowość lotniska. Polega ono na doborze infrastruktury, wyposażenia technicznego, alokacji personelu i środków finansowych niezbędnych dla realizacji wszystkich funkcji SZPL. Dokonanie konfiguracji SZPL w sposób racjonalny wymaga wiedzy o tym, w jaki sposób poszczególne elementy skomplikowanej struktury wpływają na ostateczny poziom bezpieczeństwa lotniska.

We współczesnym transporcie lotniczym definiuje się dwa główne obszary, w których stosowane są urządzenia i procedury mające prowadzić do wysokiego poziomu bezpieczeństwa.

- W pierwszym z nich (*safety*) rozważana jest problematyka niezamierzonych błędów operacyjnych, związanych np. z niedopełnieniem procedur, awariami technicznymi, podejmowaniem niewłaściwych decyzji itp. (Le Coze, 2013).
- W drugim obszarze (*security*) przedmiotem zainteresowania są tzw. akty bezprawnej ingerencji, czyli działania zamierzone o charakterze chuligańskim czy wręcz terrorystycznym (Gerstenfeld i Berger, 2011; Gkritza i in., 2006).

Przedmiotem badań w niniejszej pracy jest drugi z tych obszarów, a w szczególności kwestia kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu w porcie lotniczym w kontekście konieczności zapewnienia ciągłości funkcjonowania lotniska. Jest to problem niezwykle istotny, gdyż osoby, które planują działania skierowane przeciwko bezpieczeństwu transportu lotniczego, dążą do wprowadzenia na pokład samolotu przedmiotów (broń biała, palna, materiały wybuchowe, substancje żrące itp.), które mogą pomóc w jego uprowadzeniu czy przeprowadzeniu ataku terrorystycznego (Butler i Poole, 2002). Próby takie są zazwyczaj podejmowane poprzez usiłowanie ukrycia tych przedmiotów w bagażu podręcznym, rejestrowanym lub na ciele osoby. Z drugiej strony mamy do czynienia z dużą presją czasu, wynikającą z obowiązku dokonania odprawy pasażerskiej w ściśle zadanym przedziale czasowym.

Praktyczny sposób osiągnięcia celu działania SZPL sprowadza się do poddania osób i bagażu kontroli bezpieczeństwa przed ich załadunkiem na statek powietrzny oraz tzw. ochrony peryferyjnej, czyli przeciwdziałania nieuprawnionemu wtargnięciu na teren lotniska.

1. Elementy systemu ochrony lotnictwa cywilnego

1.1. Ogólna struktura systemu

Przeciwdziałanie aktom bezprawnej ingerencji jest zorganizowane w spójny i kompleksowy system, na który składają się różne elementy, takie jak: ochrona dostępu do strefy zastrzeżonej lotniska, ochrona peryferyjna czy kontrola bezpieczeństwa osób i bagażu, która jest przedmiotem zainteresowania w tej pracy. Jako kluczowy element tego systemu jest ona niezwykle istotna dla zachowania wysokiego poziomu bezpieczeństwa transportu lotniczego jako całości.

System zabezpieczeń portu lotniczego służy przeciwdziałaniu sytuacjom kryzysowym, czyli zagrożeniu bezpieczeństwa wystąpieniem lub możliwością wystąpienia aktu bezprawnej ingerencji. To ostatnie pojęcie jest definiowane jako bezprawny i celowy akt polegający na:

- zniszczeniu statku powietrznego albo spowodowaniu jego uszkodzeń,
- umieszczeniu na pokładzie statku powietrznego przedmiotu, urządzenia lub substancji, które mogą zniszczyć statek powietrzny,
- porwaniu statku powietrznego,
- zniszczeniu urządzeń naziemnych lub pokładowych, zakłóceniu ich działania,
- przekazaniu nieprawdziwej informacji, która powoduje zagrożenie osób i mienia w komunikacji lotniczej,
- zniszczeniu albo poważnym uszkodzeniu urządzeń na lotnisku.

Można zdefiniować pięć podstawowych czynników wpływających na stan bezpieczeństwa lotniska. Są to: system kontroli bagażu, system kontroli osób, ochrona zewnętrzna, kultura ochrony i kontrola dostępu. Ogólny schemat zależności między tymi czynnikami został przedstawiony na Rysunku 1.

Rysunek 1. Struktura modelu głównych czynników wpływających na stan bezpieczeństwa lotniska



Źródło: opracowanie własne.

Każdy z elementów przedstawionych na Rysunku 1 stanowi strukturę złożoną. Wewnętrzne relacje są silnie zależne od czynnika ludzkiego i innych czynników, niepoddających się precyzyjnemu opisowi. Jednym ze szczegółowych zadań realizowanych przez zarządzającego portem lotniczym (ZPL) jest skonfigurowanie systemu zabezpieczeń lotniska tak, aby uzyskać oczekiwany poziom zaufania co do jego bezpieczeństwa (Kirschenbaum i in., 2012). Polega ono na doborze infrastruktury, wyposażenia technicznego, alokacji personelu (Soukour i in., 2013) i środków finansowych niezbędnych dla realizacji wszystkich funkcji SZPL. Dokonanie konfiguracji SZPL w sposób racjonalny wymaga wiedzy o tym, w jaki sposób poszczególne elementy skomplikowanej struktury wpływają na ostateczny poziom bezpieczeństwa lotniska i przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa (Gerstenfeld i Berger, 2011). Można je analizować, wykorzystując standardowe metody oceny ryzyka (Tamasi i Demichela, 2011). Niestety, ze względu na trudności w ilościowym szacowaniu prawdopodobieństw zdarzeń, rozważania te prowadzone są na wysokim stopniu ogólności.

1.2. Uwarunkowania prawne działania systemu zabezpieczeń lotniska

Ewolucja systemów i rozwiązań prawnych związanych z ochroną lotnictwa cywilnego sięga już początków XX wieku, kiedy lotnictwo zaczęło wykorzystywać do celów cywilnych. Dość szybko okazało się, że nowy środek komunikacji stwarza nieograniczone praktycznie możliwości w zakresie transportu osób, bagażu i ładunków, jak również może być wykorzystany do popełnienia czynów ogólnie kwalifikowanych jako przestępcze. Z tego też powodu zaistniała konieczność uregulowania całkiem nowego obszaru, jakim było lotnictwo cywilne. Możliwość przemieszczania się drogą powietrzną pomiędzy państwami oraz swobodnej migracji populacji ludzkiej wymusiła stworzenie licznych aktów prawnych, konwencji i porozumień regulujących zasady korzystania przez państwa z przestrzeni

powietrznej. Przykładem może być tutaj Konwencja Chicagowska, która powstała z inicjatywy USA w listopadzie 1944 roku w Chicago (Stelmach i in., 2012).

1.2.1. Prawo międzynarodowe

Konwencja Chicagowska w wielu miejscach odwołuje się do pojęcia *bezpieczeństwa*. Słowo to było rozumiane głównie w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa operacji lotniczych – *safety*. W owym czasie główny nacisk kładziono na rozwój technologii, pozwalającej na zapewnienie długodystansowych lotów, przy jednoczesnej minimalizacji ryzyka powstania wypadku lotniczego. Słowo *bezpieczeństwo* nabrało zupełnie innego znaczenia w chwili, kiedy samolot stał się narzędziem służącym do popełnienia aktu terrorystycznego, polegającego na zawładnięciu samolotem. Zaczęto go wówczas używać w transporcie lotniczym w sensie „ochrona” (*security*). W drugiej połowie XX wieku powstało szereg międzynarodowych aktów prawnych – które na zasadzie dobrowolności zostały przyjęte przez wiele państw – definiujących podstawowe cele, pojęcia i potrzeby dotyczące ochrony lotnictwa cywilnego. Na uwagę zasługują tutaj przede wszystkim następujące konwencje:

1. Konwencja Chicagowska. Na mocy Konwencji Chicagowskiej powołano do życia Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (International Civil Aviation Organisation – ICAO) z siedzibą w Montrealu. Konwencja ta w aneksie 17 mówi o ochronie lotnictwa cywilnego przed aktami bezprawnej ingerencji. Został on przyjęty przez Radę ICAO 22 marca 1974 roku zgodnie z postanowieniami art. 37 Konwencji (Konwencja, 1959).
2. Konwencja Tokijska. Konwencja w sprawie przestępstw i niektórych innych czynów popełnionych na pokładzie statków powietrznych, sporządzona w Tokio 14 września 1963 roku, została przyjęta przez 173 państwa członkowskie ICAO. Polska ratyfikowała konwencję 17 czerwca 1971 roku. Postanowienia Konwencji Tokijskiej normują zagadnienia jurysdykcji, uprawnienia dowódcy statku powietrznego oraz zasady postępowania organów państwowych w razie czynów zabronionych na pokładzie, a także w razie uprowadzenia statku powietrznego, jednakże nie ustalają obowiązku karania przestępców (Konwencja, 1971).
3. Konwencja Haska. Konwencja o zwalczaniu bezprawnego zawładnięcia statkami powietrznymi została sporządzona w Hadze 16 grudnia 1970 roku i przyjęta przez 175 państw członkowskich ICAO. Polska ratyfikowała konwencję 21 marca 1972 roku. Bardzo istotnym jej postanowieniem jest obowiązek surowego karania osób dopuszczających się aktów bezprawnej ingerencji. Konwencja określa także zasady jurysdykcji i postępowania (z możliwością ekstradycji włącznie) mające wykluczyć bezkarność sprawców (Konwencja, 1972).

4. Konwencja Montrealska. Konwencja o zwalczaniu bezprawnych czynów skierowanych przeciwko bezpieczeństwu lotnictwa cywilnego została sporządzona w Montrealu 23 września 1971 roku, a następnie przyjęta przez 176 państw członkowskich ICAO. Polska ratyfikowała Konwencję Montrealską 28 stycznia 1975 roku. Określa ona bezprawne zamachy godzące w bezpieczeństwo lotnictwa cywilnego, łącznie z przemocą skierowaną przeciwko osobie znajdującej się na pokładzie statku powietrznego oraz sabotażem i niszczeniem statków powietrznych. Ustala jednocześnie obowiązek surowego karania tych czynów oraz szereg zasad postępowania podobnych do przyjętych w Konwencji Haskiej (Konwencja, 1976).

Protokół do Konwencji Montrealskiej. Jest to protokół w sprawie zwalczania bezprawnych czynów przemocy w portach lotniczych obsługujących międzynarodowe lotnictwo cywilne. Podpisany został w Montrealu 24 lutego 1988 roku (ratyfikowany przez Polskę w 2003 roku). Protokół rozszerza zakres działania Konwencji Montrealskiej na czyny przestępcze, w wyniku których mogą ucierpieć osoby, urządzenia oraz statki powietrzne znajdujące się w portach lotniczych (Protokół, 2004).

Wymienione konwencje zawierają przede wszystkim wytyczne dla państw-stron do organizacji systemu ochrony lotnictwa cywilnego na gruncie prawa krajowego i honorowane przez te państwa na zasadzie wzajemności. Są to jednak przepisy o dużym stopniu ogólności. Prawdziwym przełomem w legislacji dot. ochrony lotnictwa cywilnego były dopiero wydarzenia, które miały miejsce w USA w dniu 11 września 2001 roku, kiedy cały świat zauważył, jak bardzo rzeczywisty i groźny jest terroryzm z wykorzystaniem samolotów.

Konieczność wprowadzenia jednolitych standardów dotyczących wszystkich aspektów ochrony lotnictwa cywilnego sprawiła, że również w Unii Europejskiej powstało szereg rozporządzeń i wytycznych zobowiązujących państwa członkowskie do opracowania i wdrożenia narzuconych standardów ochrony. Przedmiotem regulacji objęte zostały m.in. następujące obszary działalności lotniczej:

- kontrola bezpieczeństwa: osób, bagażu, ładunków i zaopatrzenia,
- kontrola dostępu,
- ochrona peryferyjna.

Ten nagły rozwój regulacji prawnych ewoluował wraz z rozwojem technologicznym i rosnącymi w związku z tym możliwościami wykorzystania technologii do popełnienia aktu bezprawnej ingerencji. W chwili obecnej funkcjonuje wiele unijnych aktów prawnych, które w sposób poglądowy przedstawione są w Tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz aktów prawnych Unii Europejskiej

Prawo europejskie dotyczące systemu ochrony lotnictwa cywilnego		
Rozporządzenie 2015/1998 dot. wprowadzenia wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego	Decyzja 2015/8005 dot. wprowadzenia wspólnych szczegółowych środków ochrony lotnictwa cywilnego	Rozporządzenie 300/2008 dot. operatorów, w tym przewoźników lotniczych, świadczących usługi w portach lotniczych

Źródło: opracowanie własne.

Do najważniejszych unijnych aktów prawnych dotyczących bezpieczeństwa transportu lotniczego należą:

1. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 300/2008 z dnia 11 marca 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie ochrony lotnictwa cywilnego i uchylające rozporządzenie (WE) nr 2320/2002/185 (Parlament Europejski, 2008).
2. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 2015/1998 z dnia 5 listopada 2015 r. ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego (Komisja Europejska, 2015a).
3. Decyzja Komisji C (2015) 8005 z dnia 16.11.2015 r. ustanawiająca szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego obejmujących informacje, o których mowa w art. 18 lit. a) rozporządzenia (WE) nr 300/2008 (Komisja Europejska, 2015b).

Dokumenty powyższe w sposób bardzo szczegółowy opisują zadania i obowiązki poszczególnych służb i podmiotów zaangażowanych w proces ochrony oraz definiują podstawowe pojęcia funkcjonujące w ochronie lotnictwa cywilnego. Zwraca uwagę bardzo duża liczba zmian do ww. aktów prawnych. Wskazuje to, że europejski system prawny w tym zakresie jest ciągle doskonały, adekwatnie do zmian zagrożeń i nowych koncepcji walki z nimi. Przykładowo zmiany dotyczą wprowadzania do obiegu prawnego nowych instytucji, takich jak: zarejestrowany agent, zarejestrowany dostawca zaopatrzenia pokładowego, znany nadawca i znany dostawca zaopatrzenia pokładowego oraz portu lotniczego. Ustanawiają także szereg obowiązków podnoszących świadomość ochrony wśród pracowników tych instytucji.

Uzupełnieniem ww. regulacji jest prawo krajowe, które powinno być tożsame co do przyjętych standardów unijnych, jednakże z możliwością wprowadzenia bardziej rygorystycznych i szczegółowych rozwiązań.

1.2.2. Prawo krajowe

Nadrzędnym na gruncie prawa polskiego aktem prawnym regulującym zasady lotnictwa cywilnego jest ustawa Prawo lotnicze z dnia 3 lipca 2002 r. (Prawo lotnicze, 2002), która w następujący sposób definiuje pojęcie aktu bezprawnej ingerencji:

„Aktem bezprawnej ingerencji w lotnictwie cywilnym jest bezprawny i celowy akt polegający na:

- a) użyciu w czasie lotu statku powietrznego przemocy wobec osoby znajdującej się na jego pokładzie, jeżeli akt ten może zagrozić bezpieczeństwu tego statku,
- b) zniszczeniu statku powietrznego albo spowodowaniu jego uszkodzeń, które uniemożliwiają lot lub mogą stanowić zagrożenie bezpieczeństwa tego statku,
- c) umieszczeniu na pokładzie statku powietrznego przedmiotu, urządzenia lub substancji, które mogą zagrozić zdrowiu lub życiu pasażerów lub załogi lub zniszczyć statek powietrzny albo spowodować jego uszkodzenia, mogące uniemożliwić jego lot lub stanowić zagrożenie bezpieczeństwa tego statku w czasie lotu,
- d) porwaniu statku powietrznego z załogą i pasażerami na pokładzie lub bez nich, również w celu użycia statku powietrznego jako narzędzia ataku terrorystycznego z powietrza,
- e) zniszczeniu albo uszkodzeniu lotniczych urządzeń naziemnych lub pokładowych, zakłóceniu ich działania lub użyciu przemocy wobec osoby obsługującej te urządzenia, w przypadku gdy powoduje to znaczne zakłócenie ruchu lotniczego lub zagrożenie bezpieczeństwa lotnictwa cywilnego,
- f) przekazaniu nieprawdziwej informacji, która powoduje zagrożenie osób i mienia w komunikacji lotniczej,
- g) zniszczeniu albo poważnym uszkodzeniu urządzeń na lotnisku, zakłóceniu ich działania lub użyciu przemocy wobec osoby obsługującej te urządzenia, w przypadku gdy powoduje to znaczne zakłócenie ruchu lotniczego lub funkcjonowania lotniska lub zagrożenie bezpieczeństwa lotnictwa cywilnego”.

Nie mniej istotne są także rozporządzenia wykonawcze do ustawy Prawo lotnicze. Są to:

- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 2 grudnia 2020 r. w sprawie Krajowego Programu Ochrony Lotnictwa Cywilnego,
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 listopada 2020 r. w sprawie Krajowego Programu Kontroli Jakości w zakresie ochrony lotnictwa cywilnego,

- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 20 września 2013 r. w sprawie Krajowego Programu Szkolenia w zakresie ochrony lotnictwa cywilnego.

Treści zawarte w tych aktach prawnych w sposób szczegółowy, lecz również niewymierny, opisują procesy związane z realizacją m.in. przez zarządzającego lotniskiem kontroli bezpieczeństwa, szkoleniem personelu oraz nadzorem nad jakością wykonywanej kontroli. Zaznaczyć w tym miejscu należy także, że prawodawca przewidział kilka sposobów i narzędzi, za pomocą których kontrola ta może być wykonywana. Do najbardziej powszechnych i najczęściej spotykanych metod kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu należy kontrola za pomocą bramki do wykrywania przedmiotów metalowych WTMD (*Walk Through Metal Detector*) oraz przeglądarki rentgenowskiej. Jednak ustawodawca, mając świadomość, że rozwój technologii stwarza możliwości dla potencjalnych terrorystów do oszukania tych metod kontroli, przewiduje również dodatkowe, do których należą m.in.:

- wykrywacze śladowych ilości materiałów wybuchowych ETD (*Explosive Trace Detection*),
- niejonizujące urządzenia do kontroli bezpieczeństwa osób (body skanery),
- psy do wykrywania materiałów wybuchowych,
- urządzenia do kontroli płynów,
- tomografy komputerowe,
- jak również od zawsze obecne kontrola wzrokowa, manualna i osobista.

Istotnym zagadnieniem (choć w tej pracy nierozważanym) jest problem właściwego zapewnienia ochrony peryferyjnej lotniska. Został on w sposób bardzo ogólnikowy poruszony w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 10 października 2019 r. w sprawie wymagań dla ogrodzeń lotnisk użytku publicznego (2019), gdzie opisane są jedynie wymogi techniczne co do jakości i sposobu ogrodzenia terenu lotniska, z pominięciem jednak konieczności uzbrojenia tego ogrodzenia w inteligentne systemy elektroniczne, pozwalające na wykrycie i odpowiednią reakcję służb ochrony w przypadku wtargnięcia na chroniony teren lotniska nieuprawnionych osób (np. radary, kable sensoryczne, czujniki ruchu, cctv).

Reasumując powyższe, stwierdzić należy, że aktualny stan prawny dotyczący ochrony lotnictwa cywilnego dość szczegółowo opisuje zadania i obowiązki służb ochrony w zakresie realizowanej kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu. Prawodawca nieustannie podejmuje w tym obszarze wysiłki, aby w odpowiedni sposób i we właściwym czasie reagować na zagrożenia, jakie niesie technologia, dostępna również dla potencjalnych terrorystów. Przykładem może być wprowadzony już na lotniskach obowiązek wykonywania dodatkowej, wrywkowej kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu za pomocą wykrywacza śladowych ilości materiałów wybuchowych jako odpowiedź na potencjalne ryzyko przeniesienia przez

bramkę WTMD lub w bagażu niemetalicznych urządzeń wybuchowych, bądź też zastąpienie tradycyjnej bramki do wykrywania metalu zaawansowanymi technicznie body skanerami.

Analiza opisanego wyżej stanu prawnego oraz fakt, iż podlega on ciągłym zmianom, mającym na celu dostosowanie do aktualnych zagrożeń, daje podstawę do wyciągnięcia wniosku, iż mimo stosowania różnorodnych metod i procedur kontroli nadal istnieje zagrożenie popełnienia aktu bezprawnej ingerencji. Wiąże się to z wieloma czynnikami, które w części objętej zakresem pracy zostały szczegółowo omówione dalej. Podstawowym jednak problemem, jaki tutaj zaobserwowano, jest brak możliwości (z powodu braku narzędzi) dokonania obiektywnej i miarodajnej oceny skuteczności realizowanych przez służby ochrony lotniska zadań oraz dostosowania ich zakresu do oczekiwanej przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa.

1.3. Kontrola bagażu rejestrowanego

Kontrola bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego, a więc takiego, który umieszczany jest w luku bagażowym samolotu, jest realizowana zgodnie z przepisami (Komisja Europejska, 2015a) i dokonywana jest w celu wykrycia (a następnie usunięcia) przedmiotów i substancji, które nie mogą się znaleźć na pokładzie samolotu pasażerskiego. Należą do nich materiały wybuchowe oraz substancje i urządzenia zapalające: amunicja, spłonki, detonatory i bezpieczniki, miny, granaty i inne wojskowe materiały wybuchowe, fajerwerki i inne materiały pirotechniczne, pociski dymne i naboje dymne, dynamit, proch strzelniczy i plastyczne materiały wybuchowe.

Kontrola bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego, w zależności od konfiguracji, infrastruktury lub też wymagań związanych z zapewnieniem odpowiedniej przepustowości na lotnisku, przyjmuje różne formy i jest realizowana za pomocą różnych rozwiązań technologicznych. Sposób wykonania kontroli wpływa na jej skuteczność w sensie zdolności do wykrycia przedmiotów zabronionych.

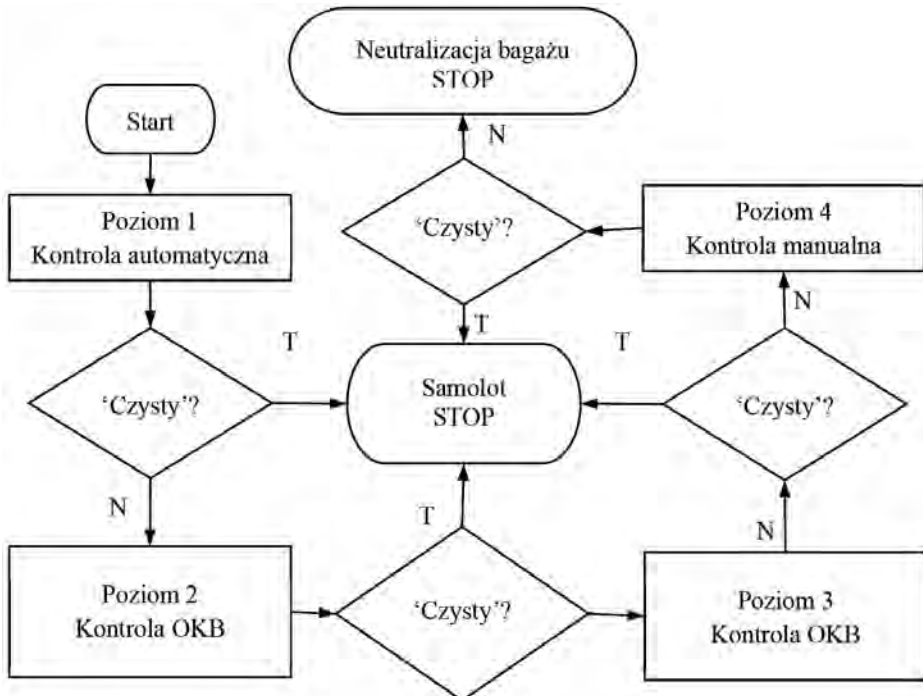
Najprostszym rozwiązaniem procesu kontroli bagażu rejestrowanego jest wykonywanie całości kontroli za pomocą konwencjonalnych urządzeń RTG, gdzie 100% bagażu jest analizowanych wyłącznie przez operatora kontroli bezpieczeństwa. Metoda ta jednak cechuje się bardzo małą przepustowością godzinową. Praktyczna przepustowość takiego systemu oceniana jest na około 200–300 bagażu na godzinę, a zatem może ona być stosowana wyłącznie na małych, lokalnych lotniskach.

Na lotniskach o większym ruchu stosuje się rozwiązanie polegające na wykonywaniu kontroli przy pomocy przeglądarki rentgenowskiej wyposażonej w system EDS (*Explosive Detection System*), wkomponowanej w system taśmociągów BHS

(*Baggage Handling System*) doprowadzających bagaż we właściwe miejsce. Ogólna struktura tego rozwiązania polega na realizowaniu różnych poziomów kontroli bagażu o różnym zakresie automatyzacji (Rysunek 2).

Pierwszy poziom kontroli polega na całkowicie automatycznej analizie obrazu prześwietlanych bagażu. W przypadku akceptacji bagażu przez system otrzymuje on status „czysty”, co pozwala na przetransportowanie go do części bagażowni, gdzie dokonywane jest jego sortowanie do przydzielonej zrzutni. Według pomiarów dokonanych w MPL Katowice-Pyrzowice około 70% bagażu otrzymuje status „czysty” na tym poziomie kontroli. Jest rzeczą oczywistą, że skuteczność stosowanego algorytmu rozpoznawania obrazu jest bardzo ważna dla bezpieczeństwa (Kirschenbaum et al., 2012; Maloof & Michalski, 1997). W tej pracy zakłada się, że algorytm ten jest całkowicie bezpieczny i nie będzie uwzględniany w opracowanej metodzie oceny. Założono bowiem, że stosowane jest rozwiązanie (algorytm), przy którym nawet najmniejsza wątpliwość jest rozstrzygana negatywnie, tzn. bagaż nie otrzymuje statusu „czysty”. Bardziej szczegółowo zagadnienia techniczne, operacyjne oraz związane z podejmowaniem decyzji przy rentgenowskiej kontroli bagażu rejestrowanego przedstawiono w (Wells i Bradley, 2012).

Rysunek 2. Ogólny schemat algorytmu kontroli bagażu rejestrowanego w PKB



Źródło: opracowanie własne.

W przypadku braku automatycznej akceptacji bagażu do przewozu, jego obraz przekazywany jest do stacji operatorskiej do decyzji operatora kontroli bezpieczeństwa (OKB). Jest to drugi poziom kontroli. Pracownik ma limitowany czas na podjęcie decyzji, najczęściej około 30 sekund. Czas ten jest określany indywidualnie i nie wynika z regulacji prawnych. W przypadku akceptacji bagażu przez OKB, bagaż otrzymuje status „czysty”, co pozwala na przetransportowanie go do części bagażowni, gdzie dokonywane jest jego sortowanie do przydzielonej zrzutni.

Trzeci poziom kontroli ma miejsce w przypadku braku akceptacji bagażu przez OKB. Polega on na ponownej kontroli bagażu, przy czym OKB dysponuje dodatkowym czasem około 30 sekund. Możliwe jest także zatrzymanie bagażu przed punktem decyzyjnym, gdy OKB ma trudność z podjęciem decyzji.

W przypadku, gdy OKB na trzecim poziomie kontroli nie jest w stanie przyznać bagażowi statusu „czysty”, kierowany jest on na czwarty poziom kontroli, w którym dokonywana jest manualna kontrola bagażu. W tym celu wzywany jest jego właściciel, gdyż zgodnie z przepisami (ICAO 2010; Parlament Europejski 2008) powinien on być obecny przy kontroli manualnej. Na stacji operatorskiej czwartego poziomu przywoływany jest również obraz prześwietlanego bagażu, wykonane go na poprzednich poziomach.

Bagaż, w którym w wyniku kontroli manualnej wykryto niebezpieczne materiały zabronione do przewozu, umieszczany jest w bezpiecznym pojemniku pirotechnicznym i wywożony poza teren terminala celem jego neutralizacji.

Kontrola bagażu rejestrowanego jest jednym z najważniejszych elementów decydujących o bezpieczeństwie transportu lotniczego. Dzieje się tak, gdyż przedmioty zabronione do przewozu w bagażu rejestrowanym, mogą stanowić poważne zagrożenie dla realizowanej operacji lotniczej. Konsekwencje dopuszczenia do przewozu bagażu z zabronioną zawartością (wskutek błędnej oceny lub nieuwagi pracowników ochrony) mogą być katastrofalne (Price & Forrest, 2013). Klasycznym przykładem takiego zdarzenia lotniczego jest lot nr 103 samolotu pasażerskiego linii Pan American World Airways, który miał miejsce 21 grudnia 1988 roku. W wyniku eksplozji bomby umieszczonej w bagażu rejestrowanym, samolot Boeing 747, lecący z Londynu do Nowego Jorku z 259 pasażerami na pokładzie, spadł na niewielkie miasteczko Lockerbie w Szkocji. Wszyscy pasażerowie zginęli, a spadające szczątki samolotu zabiły także 11 mieszkańców miasta (Smart, 1997).

1.3.1. Urządzenia rentgenowskie do kontroli bagażu

Kontrola bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego jest złożonym procesem, wspomaganym przez różne urządzenia, których skuteczność i szybkość działania w sposób zasadniczy wpływają na zdolność SZPL do wypełniania swoich funkcji (Uchroński & Skorupski, 2014b; 2015c). Wykorzystuje się:

- urządzenia rentgenowskie, służące do wykrywania materiałów wybuchowych,
- urządzenia do wykrywania materiałów radiacyjnych,
- urządzenia do wykrywania śladowych ilości substancji wybuchowych.

Urządzenia rentgenowskie stanowią jedno z podstawowych narzędzi kontroli bezpieczeństwa. Pozwalają one na dokonanie kontroli zawartości przenoszonego przez pasażerów bagażu bez konieczności jego otwierania. Odpowiednio przeszkolony w zakresie analizy wyświetlanego obrazu OKB jest w stanie z bardzo dużą pewnością ocenić, czy w bagażu znajdują się przedmioty zabronione lub niebezpieczne przy przewozie drogą lotniczą. Metoda ta jest także niewątpliwie jedyną tego rodzaju kontrolą pozwalającą na wykrycie starannie ukrytych przedmiotów lub substancji w powłoce bagażu (ukryte schowki, podwójne dno).

Lotniskowe przeglądarki zawartości bagażu działają na zasadzie jego prześwietlania promieniami rentgenowskimi. Generator promieni jest uruchamiany przez fotokomórkę wzbudzoną przez przechodzący bagaż. Przedmioty w bagażu pochłaniają różną ilość energii promieniowania, w zależności od gęstości i składu chemicznego. Pozostała energia promieniowania trafia na specjalne paski detektorów, które dokonują jej przetworzenia na energię elektryczną, a następnie na obraz, gdzie przedmioty o dużym stopniu pochłaniania energii są widoczne jako ciemne, na tle jasnego tła (Smiths Detection, 2013).

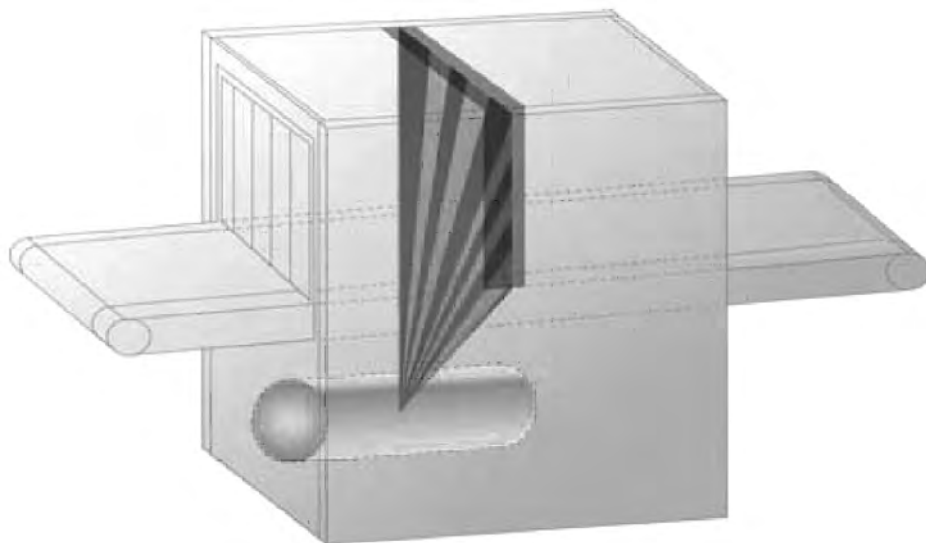
Obraz uzyskany z przeglądarki jest analizowany automatycznie lub przez OKB. Oprogramowanie do rozpoznawania obrazów może dokonać automatycznego porównania uzyskanych obrazów z wzorcami przedmiotów zabronionych, znajdujących się w bazie danych. W razie stwierdzenia podobieństwa, bagaż jest kierowany do dalszej weryfikacji. Dodatkowo, w ramach wspomaganie OKB, oprogramowanie przeglądarki wskazuje na miejsca podejrzone oraz zaznacza różnymi kolorami materiały organiczne, stal i żelazo, inne przedmioty metalowe oraz obszary o gęstości przekraczającej zdolność do penetracji przez zastosowane promieniowanie.

Jednym z ważniejszych elementów wpływających na jakość i skuteczność realizowanej kontroli są parametry techniczne przeglądarki, które umożliwiają otrzymanie obrazu bagażu prześwietlonego jednocześnie pod wieloma kątami. Decydującym warunkiem jest tutaj liczba generatorów, która determinuje liczbę wyświetlanych obrazów danego bagażu.

W wersji z jednym generatorem (Rysunek 3) przedmiot prześwietlany podczas transportu przez tunel urządzenia przecina jedną wiązkę promieniowania rentgenowskiego i powoduje wytworzenie sygnału na jednej linii detektorów promieniowania, co umożliwia uzyskanie pojedynczego obrazu widzianego z jednego, określonego kierunku (kąta).

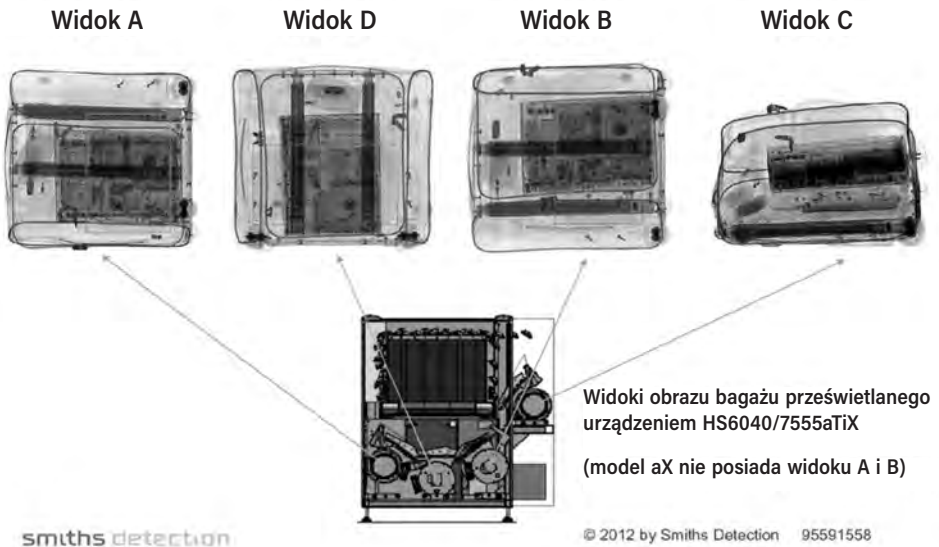
W wersji z dwoma lub więcej generatorami przedmiot prześwietlany podczas transportu przez tunel urządzenia przecina dwie lub więcej wiązek promieniowania rentgenowskiego i powoduje wytworzenie sygnału na dwóch lub więcej liniach detektorów umieszczonych w urządzeniu pod różnymi kątami, co daje możliwość uzyskania kilku obrazów widzianych z kilku różnych kierunków. Prawdopodobieństwo wykrycia ukrytego w bagażu przedmiotu zabronionego jest więc znacznie większe w przypadku użycia do kontroli bezpieczeństwa wielogeneratorskiego urządzenia rentgenowskiego. W praktyce operator kontroli bezpieczeństwa ma do dyspozycji widok obrazu wykonanego z kilku kątów naraz, co minimalizuje ryzyko, że przedmiot zabroniony zostanie ułożony w bagażu w taki sposób, aby nie był dostatecznie widoczny dla operatora (Rysunek 4).

Rysunek 3. Zasada działania urządzenia do prześwietlania bagażu z jednym generatorem



Źródło: Smiths Detection, Conventional X-ray Inspection Units, Student guide.

Rysunek 4. Widok bagażu z różnych perspektyw



Źródło: Smiths Detection, 6040aX/aTiX and 7555aX/aTiX, X-ray Inspection Units with Explosives Detection System, Technical training – Student guide.

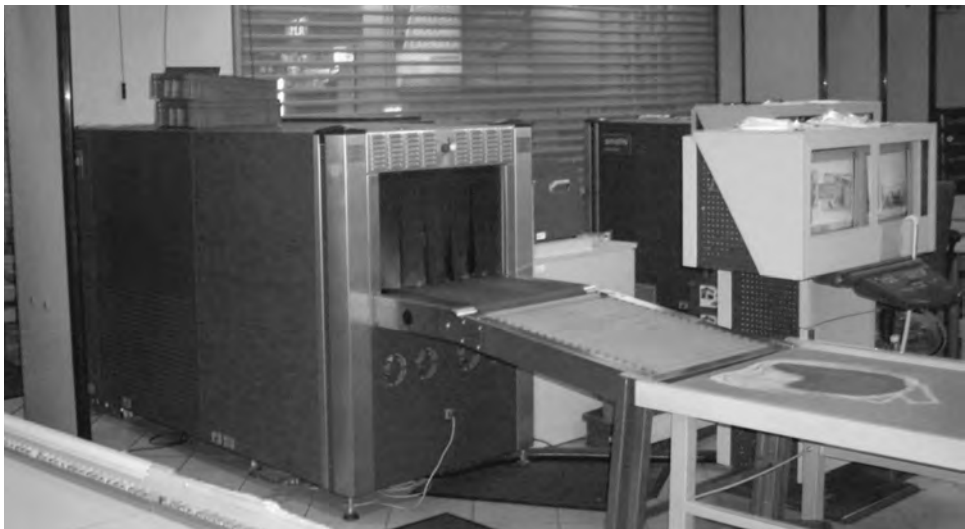
W portach lotniczych stosuje się – w zależności od potrzeb i możliwości finansowych danego lotniska – różne modele urządzeń o różnym stopniu zaawansowania. Od jednogeneratorowych, które wymagają szczególnej ostrożności i zaangażowania operatorów podczas wykonywanej pracy, do wielogeneratorowych, które pozwalają dodatkowo na ich wyposażenie w system EDS (Explosive Detection System), automatycznie wykrywający materiały wybuchowe. Przykładowo, w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Katowice-Pyrzowice stosuje się urządzenia Heimann Smiths: 6040i, 6046si (Rysunek 5), 6040aTiX (Rysunek 6), 100100T oraz Smiths Detection: 100100T-2is i 100100V-2is, 10080 EDXe)2is.

Rysunek 5. Heimann Smiths 6046si (MPL Katowice-Pyrzowice)



Źródło: zasoby własne, wykorzystanie za zgodą GTL SA.

Rysunek 6. Heimann Smiths 6040aTiX (MPL Katowice-Pyrzowice)



Źródło: zasoby własne, wykorzystanie za zgodą GTL SA.

1.3.2. Oprogramowanie urządzeń rentgenowskich – system TIP

Z uwagi na ogromne znaczenie umiejętności OKB, konieczna jest codzienna bieżąca kontrola ich pracy przy analizie obrazów prześwietlanych bagaży. Wykorzystuje się do tego system informatyczny, służący do zarządzania biblioteką obrazów TIP (*threat image projection*). System TIP, czyli projekcja wirtualnych obrazów zagrożeń, jest jednym z narzędzi, które pozwalają na ciągle doskonalenie umiejętności pracownika.

Jego ideą jest nakładanie na obraz prześwietlanego bagażu – w sposób losowy, z określoną częstością – wirtualnego obrazu przedmiotu zabronionego. W takiej sytuacji mówi się potocznie, że został wyświetlony TIP. Zadaniem operatora jest wykrycie w wyświetlanym obrazie wirtualnego przedmiotu oraz potwierdzenie tego faktu przez naciśnięcie odpowiedniego przycisku na konsoli urządzenia RTG. W przypadku, gdy reakcja jest prawidłowa, system potwierdza, że OKB wykrył TIP i rejestruje czas reakcji pracownika. Potwierdzenie jest konieczne, gdyż w takim przypadku nie ma konieczności manualnego sprawdzenia zawartości bagażu, która występuje wówczas, gdy obraz przedmiotu zabronionego nie był wyświetlony przez system, lecz przedmiot zabroniony naprawdę znajduje się w bagażu. W przypadku braku reakcji na TIP system również informuje OKB o popełnionym błędzie i rejestruje ten fakt do dalszej analizy.

Dzięki zastosowaniu systemu TIP zwiększa się czujność pracowników OKB, którzy nieco częściej niż przy braku tego systemu są zmuszani do wyszukiwania podejrzanego przedmiotu w obrazie prześwietlanego bagażu. System TIP posiada między innymi możliwość bieżącego podglądu pracy OKB oraz weryfikacji jego umiejętności analizy obrazu prześwietlanego bagażu (Neiderman & Fobes, 2009).

System TIP pełni w przeglądarce dwie ważne funkcje. Z jednej strony pozwala sprawdzić czujność, spostrzegawczość i wiedzę pracownika o przedmiotach zabronionych. W zależności od liczby popełnianych błędów można uzyskać informację o skuteczności pracownika. Jest rzeczą oczywistą, że OKB, którzy popełniają zbyt dużą liczbę błędów, muszą być eliminowani z tej odpowiedzialnej pracy.

Z drugiej strony system TIP zmusza OKB do większej uwagi, tym samym podnosząc poziom bezpieczeństwa podróży lotniczej. Pracownik, wiedząc, że jest kontrolowany, będzie starał się lepiej analizować wyświetlany obraz. Dodatkowo pobudzanie jego uwagi przez dostarczanie mu co jakiś czas bodźca, na który musi zareagować, jest korzystne dla skuteczności kontroli.

Systemy TIP nie są jednakowo skonfigurowane na wszystkich urządzeniach znajdujących się na lotniskach. W szczególności różnią się bazą obrazów TIP. Liczność zbioru obrazów waha się w rozwiązaniach praktycznych od ok. 600 do ok. 6000. W pracach (Uchroński & Skorupski, 2014b; 2015c) przeanalizowano wpływ liczby TIP-ów, w jakie jest wyposażone urządzenie RTG, na skuteczność

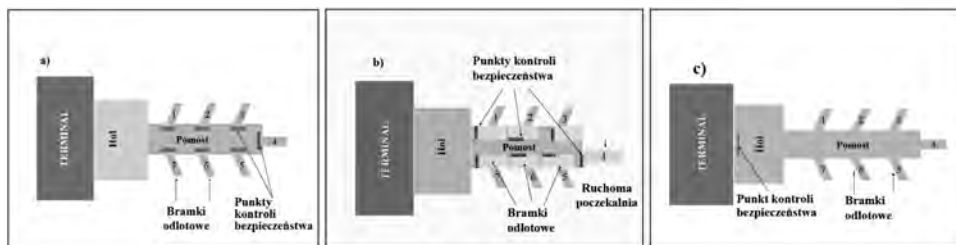
kontroli. Wpływ ten jest istotny, podobnie jak wpływ przeciętnej częstości wyświetlania TIP-ów, która może być narzucana przez operatora systemu. Przy niewielkiej liczbie TIP-ów wyświetlanych często, OKB jest w stanie zapamiętać te obrazy. Wówczas funkcje pobudzające i kontrolne systemu TIP ulegają osłabieniu – pracownik może wskazywać przedmioty zabronione odruchowo, bez głębszej analizy obrazu. W przypadku dużej liczby TIP-ów lub mniejszej częstości ich wyświetlania, skuteczność systemu TIP wzrasta. Zagadnienia te są omówione szerzej w pracy (Uchroński & Skorupski, 2016).

1.4. Kontrola bagażu podręcznego

W odniesieniu do kontroli bagażu podręcznego i osób można spotkać następujące struktury kontroli bezpieczeństwa (Rysunek 7):

- w bramce odlotowej przed wejściem na pokład statku powietrznego (brak poczekalni odlotowej),
- przed wejściem do poczekalni odlotowej (system zdecentralizowany),
- przed wejściem do holu prowadzącego do bramek odlotowych (system scentralizowany).

Rysunek 7. Struktury kontroli bezpieczeństwa: a) w bramce odlotowej, b) system zdecentralizowany, c) system scentralizowany



Źródło: opracowanie własne.

Międzynarodowe zrzeszenie przewoźników lotniczych IATA ustaliło standard poziomu obsługi pasażera w punktach kontroli bezpieczeństwa (PKB). Zaleca się, aby średnia przepustowość jednego stanowiska wynosiła 120 pasażerów na godzinę, przy maksymalnym czasie oczekiwania na obsługę wynoszącym 7 minut (zalecane 3 minuty). Na jeden ciąg kontroli bezpieczeństwa powinno przypadać ok. 130 m kw. i powinien on być obsługiwany przez 3–5 pracowników.

Kontrola bezpieczeństwa bagażu kabinowego (zwanego podręcznym) jest jednym z podstawowych i niezwykle ważnych elementów systemu ochrony lotnictwa cywilnego przed aktami bezprawnej ingerencji (ICAO, 2010). Od dokładności

jej wykonania zależy bowiem wykrycie przedmiotów zabronionych do przewozu, mogących posłużyć do przeprowadzenia ataku terrorystycznego na pokładzie statku powietrznego. Bezpieczeństwo podróżujących transportem lotniczym pasażerów zależy w tym kontekście od umiejętności operatorów kontroli bezpieczeństwa (OKB), ich możliwości psychofizycznych oraz stopnia wykszolenia (Uchroński & Skorupski, 2015d). Dla utrzymania wysokiej skuteczności ich pracy, OKB poddawani są przez uprawnione do tego służby permanentnym szkoleniom, testom, a nawet prowokacjom.

Proces kontroli bezpieczeństwa dość szczegółowo opisany jest w obowiązujących unijnych oraz krajowych regulacjach prawnych, które wyznaczają pewne minimalne standardy, gwarantujące odpowiedni stopień ochrony pasażerów (Komisja Europejska, 2015a). Operator kontroli bezpieczeństwa podczas kontroli bagażu kabinowego ma do dyspozycji pewne narzędzia wspomagające jego działania. Zgodnie z obowiązującym prawem kontrola bezpieczeństwa bagażu kabinowego może być realizowana za pomocą:

- urządzenia rentgenowskiego do prześwietlania bagażu,
- kontroli manualnej,
- systemów wykrywania materiałów wybuchowych (EDS),
- psów do wykrywania materiałów wybuchowych,
- urządzeń do wykrywania śladowych ilości materiałów wybuchowych (ETD).

W praktyce najczęściej wykorzystywana jest metoda dwustopniowej kontroli bezpieczeństwa bagażu kabinowego:

- prześwietlanie wnętrza za pomocą przegładarki rentgenowskiej,
- kontrola manualna, która jest stosowana każdorazowo w przypadku wątpliwości OKB co do zawartości bagażu oraz wrywkowo w stosunku do określonego przepisami odsetka bagażu – w przypadku, kiedy urządzenie RTG nie jest wyposażone w system projekcji wirtualnych obrazów zagrożeń TIP.

Jeżeli operator kontroli bezpieczeństwa nie może stwierdzić, że bagaż kabinowy nie zawiera przedmiotów zabronionych, odrzuca się go lub poddaje powtórnej kontroli, dopóki nie uzna, że wymogi bezpieczeństwa zostały spełnione. Wykaz przedmiotów zabronionych do przewozu jest dosyć szeroki i nie stanowi katalogu zamkniętego, co oznacza w praktyce, że OKB może odmówić przewozu w bagażu przedmiotu lub substancji mogących jego zdaniem posłużyć do popełnienia aktu bezprawnej ingerencji. Podczas kontroli bezpieczeństwa mogą występować dwie sytuacje istotnie wpływające na bezpieczeństwo operacji lotniczych.

Pierwsza dotyczy sytuacji, kiedy pasażer nieświadomy obowiązujących przepisów usiłuje przewieźć w bagażu kabinowym przedmioty uznane za zabronione. W takim przypadku przedmioty zabronione do przewozu w bagażu

kabinowym (o ile nie są zabronione do przewozu w bagażu rejestrowanym) mogą być (MTBiGM, 2020):

- umieszczone w bagażu rejestrowanym podczas odprawy biletowo-bagażowej,
- oznakowane przez przewoźnika lotniczego jako bagaż rejestrowany i skierowane do luku bagażowego w trakcie kontroli bezpieczeństwa,
- przechowane na lotnisku za opłatą, w przeznaczonym do tego celu pomieszczeniu, do czasu zgłoszenia się po ich odbiór,
- po usunięciu z bagażu kabinowego umieszczone w specjalnie do tego celu przeznaczonym pojemniku i zniszczone na koszt przewoźnika lotniczego lub zarządzającego lotniskiem.

Drugą sytuacją, która zdarza się zdecydowanie rzadziej, a która stanowi już poważne zagrożenie dla wszystkich znajdujących się w pobliżu punktu kontroli bezpieczeństwa, jest wykrycie przedmiotu niebezpiecznego, takiego jak broń czy materiał wybuchowy. Tutaj reakcja OKB musi być zdecydowana i polegać na sprawnym wyeliminowaniu zagrożenia. Bardzo ważnym elementem podejmowanych działań jest znajomość schematów postępowania oraz systematyczne ćwiczenia, pozwalające w obliczu zagrożenia na wzorową współpracę wszystkich operatorów kontroli bezpieczeństwa.

1.5. Kontrola osób

Równie ważnym elementem SZPL jest kontrola bezpieczeństwa osób podróżujących komunikacją lotniczą. Przedmioty niebezpieczne mogą bowiem być ukryte nie tylko w bagażu pasażera, ale również na jego ciele.

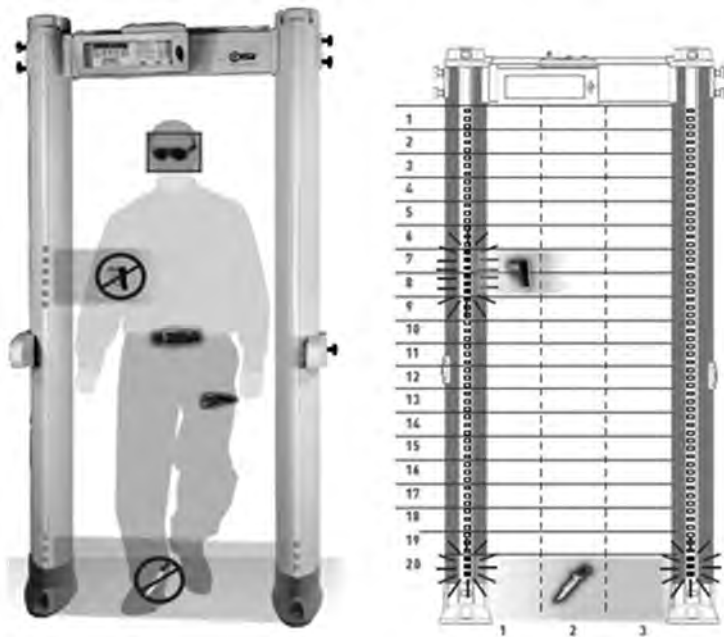
Na kontrolę bezpieczeństwa osób w porcie lotniczym składa się szereg czynności wykonywanych przez operatorów kontroli bezpieczeństwa (OKB). Wykorzystują oni specjalistyczne urządzenia wspomagające, umożliwiające detekcję przedmiotów zabronionych, które pasażer może usiłować przenieść na pokład statku powietrznego. W większości przypadków próby takie wynikają ze zwykłej nieuwagi pasażera lub z braku świadomości co do obowiązujących przepisów. Dla takich pasażerów kontrola bezpieczeństwa jest po prostu przykrym utrudnieniem. Jednak system kontroli bezpieczeństwa jest nastawiony na wykrycie przypadków świadomego działania człowieka, terrorysty, który aby osiągnąć zamierzony cel, usiłuje dokonać aktu bezprawnej ingerencji (ICAO, 2010).

Standardowym elementem każdego punktu kontroli bezpieczeństwa jest tzw. bramka do wykrywania metali WTMD (*Walk Through Metal Detector*). Urządzenie to ma za zadanie wykryć wszelkie metalowe przedmioty, które pasażer przenosi na sobie i usiłuje wnieść do strefy zastrzeżonej lotniska. Oczywiście

bramki są tylko narzędziem do kontroli osób w rękach operatora kontroli bezpieczeństwa i muszą spełniać określone w regulacjach prawnych standardy. OKB na podstawie wskazania bramki jest w stanie zlokalizować zagrożenie wynikające z posiadanego przez pasażera przedmiotu zabronionego oraz podjąć odpowiednie w takiej sytuacji działania.

Bramki WTMD działają, wykorzystując zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Urządzenie generuje stałe pole magnetyczne. W przypadku przechodzenia przez nie pasażera, który przenosi przedmiot metalowy, pole magnetyczne zostaje zakłócone. Rodzaj i siła tego zakłócenia zależą od rodzaju materiału użytego do wykonania wykrytego przedmiotu, jego rozmiarów (masy), kształtu, orientacji przestrzennej i prędkości przemieszczania. Dwa parametry fizyczne materiału, które determinują siłę interakcji, to: przewodność elektryczna i przenikalność magnetyczna tego materiału (Paulter, 2001). Zasadę wizualizacji zagrożenia przez bramki WTMD przedstawiono schematycznie na Rysunku 8.

Rysunek 8. Zasada wizualizacji zagrożenia przez bramki WTMD



Źródło: Ceia S.p.A, <http://www.ceia.net/security/sections.aspx?sec=a>.

Minimalne wymagania techniczne określone zostały w unijnych rozporządzeniach dot. ochrony lotnictwa cywilnego, np. (Komisja Europejska, 2015a). Należą do nich:

1. Bramki do wykrywania metalu (WTMD) są w stanie wykryć i zasygnalizować za pomocą alarmu co najmniej określone przedmioty metalowe, zarówno indywidualnie, jak i łącznie.
2. WTMD wykrywa przedmiot metalowy niezależnie od jego położenia i usytuowania.
3. WTMD posiada wskaźnik wizualny sygnalizujący, że urządzenie funkcjonuje.
4. W przypadku wykrycia przedmiotów metalowych, WTMD wysyła zarówno sygnał optyczny, jak i dźwiękowy. Obydwa rodzaje alarmu są odbierane w promieniu 2 metrów.
5. Wszystkie WTMD są w stanie:
 - a) reagować sygnałem dźwiękowym i/lub optycznym na określony odsetek osób przechodzących przez WTMD, które nie uruchomiły alarmu (możliwe jest ustalenie wielkości tego odsetka),
 - b) rejestrować liczbę osób poddanych kontroli bezpieczeństwa; z wyłączeniem osób, które przechodzą przez WTMD w przeciwnym kierunku,
 - c) rejestrować liczbę uruchomionych alarmów,
 - d) przeliczyć liczbę uruchomionych alarmów jako odsetek liczby osób poddanych kontroli bezpieczeństwa.

Wśród parametrów technicznych, które odgrywają istotną rolę w trakcie realizowanej kontroli bezpieczeństwa osób (oprócz oczywiście podstawowego warunku, jakim jest sprawne działanie bramki) wyróżnia się następujące elementy:

- liczba obszarów detekcyjnych,
- możliwość ustawienia czułości detekcji w obszarach,
- wizualizacja obszarów detekcji,
- istnienie systemu wspomagania kontroli manualnej.

Oczywiście samo wskazanie bramki (alarm) nie oznacza, że mamy do czynienia z aktem bezprawnej ingerencji, niemniej jednak alarm, który wzbudzony jest przez pasażera, powoduje konieczność wdrożenia odpowiednich procedur, eliminujących potencjalne zagrożenie.

Od możliwości technicznych i skuteczności działania bramek zależy często zdrowie lub życie pasażerów odlatujących z danego lotniska. Czułość detekcji oraz możliwość precyzyjnego zlokalizowania na ciele pasażera ukrytego przedmiotu zabronionego jest niezmiernie ważnym elementem wspomagającym pracę OKB.

Należy jednak pamiętać, że to człowiek ostatecznie decyduje, czy pasażer stanowi zagrożenie dla planowanej operacji lotniczej. WTMD posiada bowiem zdolność wykrywania wyłącznie przedmiotów metalowych, co przy obecnym stanie techniki nie jest już wystarczające z punktu widzenia ochrony lotnictwa cywilnego. Istnieje bowiem wiele możliwości stworzenia doskonałych substytutów

przedmiotów wykonanych z materiałów metalowych, przy użyciu których można dokonać aktu bezprawnej ingerencji, np. noże ceramiczne, komponenty broni palnej z tworzyw sztucznych. Dlatego też w PKB stosowana jest w sposób wyrywkowy kontrola manualna pasażerów (Komisja Europejska, 2015a). Osoby do kontroli manualnej są typowane na podstawie tzw. profilowania. Jednak istotnym elementem wspomaganie OKB w tym zakresie jest losowe wskazywanie, przez oprogramowanie bramki, osób do dodatkowej kontroli. Zapewnia to, że kontroli manualnej poddawany jest określony w przepisach odsetek pasażerów, a jednocześnie odciąża OKB od konieczności liczenia wymaganej procentowości kontroli manualnych.

Od właściwie dobranej bramki WTMD zależy w dużej mierze sama organizacja procesu kontroli bezpieczeństwa osób. Skuteczność kontroli będzie zdecydowanie większa, jeżeli OKB skupi się wyłącznie na czynnościach bezpośrednio związanych z identyfikacją ewentualnego zagrożenia. W niniejszej pracy dokonano oceny skuteczności bramek w procesie kontroli osób w PKB.

Na rynku istnieje szereg urządzeń służących do wykrywania metali, których głównym celem jest detekcja przedmiotów, które mogłyby posłużyć do popełnienia szeroko rozumianego czynu przestępczego. Oprócz lotnisk jest wiele innych obszarów (instytucji), gdzie stosowanie takich urządzeń jest wymagane, ale nie ma tak szczegółowych regulacji prawnych normujących parametry techniczne bramek. Do takich instytucji należą np.: zakłady penitencjarne i poprawcze, urzędy państwowe, imprezy sportowe, zakłady o szczególnym znaczeniu. Najczęściej można spotkać bramki takich producentów jak Garrett lub ThruScan. Można jednak zauważyć, że istnieje pewna tendencja do specjalizacji producentów produkujących bramki wykrywacze metali wykorzystywane na lotniskach. Bramki te oprócz funkcji podstawowych posiadają również szereg udogodnień (np. wskazują losowo pasażerów do kontroli manualnej), wynikających ze specyfiki pracy na lotnisku. W praktyce na większości europejskich lotnisk najczęściej stosowane są bramki dwóch producentów. Są to bramki produkowane przez firmy Ceia i Rapiscan. Przykłady tych bramek, zainstalowanych w MPL Katowice-Pyrzowice, przedstawiono na Rysunku 9.

Alternatywą dla standardowych bramek do wykrywania metali są tzw. body skanery. Urządzenie do prześwietlania osób to system umożliwiający wykrywanie przedmiotów metalowych i niemetalowych różniących się od ludzkiej skóry i przenoszonych na ciele lub w odzieży. Urządzenie to wykrywa więc wszystkie przedmioty potencjalnie ukryte na ciele osoby, w tym materiały wybuchowe. Stosując te urządzenia, nie ma więc obowiązku wykonywania dodatkowych kontroli manualnych, weryfikujących czy pasażer posiada ukryte na swoim ciele przedmioty niemetaliczne. Urządzenie do prześwietlania osób obsługiwane przez pracownika

weryfikującego może składać się z systemu wykrywania zagrożeń generującego obraz ciała osoby na potrzeby analizy ze strony pracownika weryfikującego, który ma wykluczyć, że na ciele osoby poddanej kontroli bezpieczeństwa jest przenoszony jakikolwiek przedmiot metalowy lub niemetalowy różniący się od ludzkiej skóry. Dopiero gdy pracownik weryfikujący zidentyfikuje tego rodzaju przedmiot, przekazuje informację dotyczącą jego umiejscowienia operatorowi kontroli bezpieczeństwa w celu przeprowadzenia dodatkowej kontroli. Podobnie jak w przypadku WTMD, również urządzenia niejonizujące cechują się minimalnymi standardami opisanymi w regulacjach prawnych (WE 2015/1998), takimi jak:

- a) wykrywanie oraz wskazywanie za pomocą sygnału alarmowego co najmniej określonych przedmiotów metalowych i niemetalowych, w tym materiałów wybuchowych, obecnych zarówno samodzielnie, jak i w powiązaniu z innymi przedmiotami,
- b) wykrywanie niezależne od umiejscowienia i ułożenia przedmiotu,
- c) wskaźnik sygnalizujący, że urządzenie jest włączone,
- d) obowiązek instalacji w taki sposób, aby na ich działanie nie miały wpływu źródła zakłóceń,
- e) obowiązek codziennej weryfikacji poprawności działania urządzenia oraz
- f) obowiązek używania urządzenia zgodnie z instrukcją eksploatacji dostarczoną przez producenta.

1.6. Człowiek jako element systemu kontroli bagażu w porcie lotniczym

Mimo dużego zaawansowania współczesnych rozwiązań technicznych wykorzystywanych do automatycznego rozpoznawania obrazów zagrożeń, nie stosuje się jak dotąd rozwiązań w pełni zautomatyzowanych. W kontroli bagażu rejestrowanego około 30% wszystkich bagaży jest kontrolowanych przez OKB. W kontroli bagażu podręcznego cała kontrola jest wykonywana z udziałem człowieka – manualnie lub zdalnie z wykorzystaniem przegładek RTG. Nawet burzliwy rozwój technologiczny w sferze rozpoznawania obrazów nie zmienia faktu, że wykorzystywanie człowieka do zdalnej kontroli bagażu będzie jeszcze przez wiele lat koniecznością.

Rysunek 9. Bramki WTMD zainstalowane w MPL Katowice-Pyrzowice: z lewej Ceia, po prawej Rapiscan



Źródło: zasoby własne, wykorzystanie za zgodą GTL SA.

Wiedza teoretyczna nabyta przez pracownika w trakcie szkoleń z ochrony lotnictwa cywilnego określa pewne ramy, schematy, w których operator kontroli bezpieczeństwa będzie się poruszał przy wykonywaniu swoich obowiązków. Jednak podobnie jak w każdym innym zajęciu wymagającym obsługi urządzeń, oceny sytuacji, kojarzenia faktów czy podejmowania decyzji, nie da się teoretycznie „nauczyć” wszystkich sytuacji, które mogą zaistnieć w praktyce. Dotyczy to szczególnie sytuacji niestandardowych czy awaryjnych (Malakis et al., 2010a; Bazargan i Guzhva, 2011; Grabarek i Choromański, 2010). Wymagają one rozwiązywania nietypowych problemów decyzyjnych, umiejętności rzeczowej, merytorycznej i spokojnej oceny możliwych wariantów działania w kontekście obowiązujących regulacji prawnych i organizacyjnych czy ograniczeń infrastrukturalnych. Umiejętności te pracownik osiąga w miarę upływu czasu pracy w punkcie kontroli bezpieczeństwa, w ramach zdobywania doświadczenia (Fruhen et al., 2014).

Dokonanie oceny, na ile doświadczony jest OKB, to znaczy na ile posiadał umiejętność samodzielnej pracy lub nawet możliwość nadzoru i szkolenia nowych pracowników, jest bardzo trudne. Jest to bowiem kwestia subiektywna i trudna do jednoznacznej oceny, dodatkowo zależna od indywidualnych cech charakteru i osobowości OKB oraz jego zdolności do współpracy w zespole (Malakis et al., 2010b).

Analizując proces kontroli bagażu wykonywanej zdalnie przez OKB, można zauważyć liczne czynniki wpływające na jej skuteczność. Czynniki te można podzielić na dwie zasadnicze grupy. Pierwsza z nich związana jest z klasą wykorzystywanej przeglądarki rentgenowskiej (Uchroński & Skorupski, 2014b). Do grupy tej zalicza się:

- wykrywalność materiałów wybuchowych, wynikająca ze standardu urządzenia: konwencjonalne RTG lub posiadające funkcję EDS (*Explosives Detection System*),
- liczba generatorów obrazu, która determinuje możliwość uzyskania obrazów prześwietlanego bagażu w różnych przekrojach,
- wiek urządzenia,
- skuteczność systemu TIP, o ile jest w urządzeniu zainstalowany, zależna od liczby obrazów i częstotliwości ich wyświetlania.

Do drugiej grupy czynników, związanych z człowiekiem – OKB zalicza się (Uchroński & Skorupski, 2015d):

- ogólną ocenę potencjału pracownika, zależną od jego doświadczenia, odbytych szkoleń oraz ogólnego podejścia do wykonywanej pracy: restrykcyjnego lub łagodnego,
- liczbę błędów popełnianych przy wykonywaniu kontroli,
- czynniki organizacyjne, charakteryzujące stopień wykorzystania OKB w całym procesie kontroli.

1.6.1. Przyczyny błędów operatora systemu

Biorąc pod uwagę wielkość ruchu na przeciętnym lotnisku, kwestię bezpieczeństwa personelu i pasażerów oraz czas niezbędny do skontrolowania bagażu, można łatwo stwierdzić, że przeprowadzenie tej czynności przez operatora kontroli bezpieczeństwa (OKB) nie jest możliwe bez wspomaganie przez specjalizowany system telematyczny (Wetter, 2013). W jego skład wchodzi przeglądarki rentgenowskie oraz odpowiednie oprogramowanie odpowiedzialne za:

- generowanie wysokiej jakości obrazu zawartości (wnętrza) bagażu pasażera (Flitton et al., 2013),
- automatyczne rozpoznawanie obrazów zagrożeń (Wells & Bradley, 2012),
- dostarczanie wytworzonego obrazu do OKB, który może się znajdować w pewnym oddaleniu od miejsca kontroli,
- kontrolę pracy OKB poprzez wyświetlanie obrazów TIP (*Threat Image Projection*), rejestrację zdalnego wykrycia obrazu zabronionego przedmiotu, analizę skuteczności wykrywania, archiwizowanie wyników (Wales et al., 2009).

Całość punktu kontroli bezpieczeństwa (PKB) można traktować jako złożony antropotechniczny system telematyczny, wspomagający utrzymanie wysokiego poziomu

bezpieczeństwa transportu lotniczego. Poziom ten jest zależny m.in. od standardu technicznego zastosowanych urządzeń RTG, wariantu organizacji PKB, stanu technicznego sprzętu, a zwłaszcza jakości pracy OKB (Schwaninger et al., 2004).

Jak już wspomniano, telematyczny system kontroli bagażu jest systemem antropotechnicznym, w którym rola czynnika ludzkiego jest niezwykle ważna. Jest on wspomagany przez system TIP, zawierający bazę danych obrazów przedmiotów zabronionych do przewozu lotniczego. Potocznie obrazy te nazywa się po prostu TIP-ami. W zależności od tego, czy mamy do czynienia z systemem kontroli bagażu podręcznego, czy rejestrowanego, baza ta zawiera inne obrazy. W przypadku bagażu rejestrowanego przedmiotami i substancjami zabronionymi są wszelkiego rodzaju materiały wybuchowe i pirotechniczne. W bagażu podręcznym katalog przedmiotów zabronionych jest znacznie szerszy. Zawiera dodatkowo broń białą, przedmioty o ostrych końcach czy płyny.

Można wskazać kilka grup przyczyn wpływających na błędy popełniane przez operatora systemu telematycznego, którego przykład jest rozważany w tej pracy. Należą do nich:

- charakterystyka bagażu: złożoność ocenianego obrazu, ułożenie zabronionego przedmiotu w stosunku do osoby kontrolującej oraz stopień nakładania się różnych obrazów sąsiadujących z przedmiotem zabronionym (Michel et al., 2010),
- czynniki techniczne: typ i stan techniczny urządzeń wsparcia telematycznego, które generują i transmitują obrazy prześwietlanego bagażu (Kirschenbaum et al., 2012),
- czynniki środowiskowe: organizacja miejsca pracy, oświetlenie, temperatura,
- czynniki indywidualne krótkotrwałe: zdenerwowanie, niewyspanie, zmęczenie (wynikające z monotonii pracy i braku bodźców), zmęczenie (wynikające z długiego czasu pracy, z pracy w nocy lub z nadmiaru bodźców) (Wang & Chuang, 2014),
- czynniki indywidualne długotrwałe: wykształcenie, doświadczenie, kultura bezpieczeństwa (Stroeve et al., 2011).

1.6.2. Typy błędów operatorów kontroli bezpieczeństwa

Jeszcze w ramach badań i pomiarów przeprowadzonych w MPL Katowice-Pyrzowice w miesiącach styczeń–kwiecień 2014, określono typy i częstotliwości popełnianych błędów (Uchroński & Skorupski, 2014a). Ustalono, że OKB popełniają błędy dwójakiego rodzaju.

- A. Nie wskazują (nie zauważają) wirtualnego przedmiotu zabronionego nałożonego na obraz prześwietlanego bagażu. Nazwano to błędem typu A. Jest to sytuacja bardzo niepokojąca, bowiem jeśli OKB nie zauważył obrazu wirtualnego

przedmiotu zabronionego, to można przyjąć, że z takim samym prawdopodobieństwem nie zauważy prawdziwego przedmiotu zabronionego. Duża liczba takich błędów oznaczałaby, że cały system ochrony lotniska należy ocenić na niskim poziomie. Główny bowiem cel, dla którego realizowana jest kontrola bagażu, czyli wykrycie zabronionego przedmiotu, nie jest osiągany.

- B. Wskazują jako niebezpieczne bagaże, które w rzeczywistości nie zawierają ani rzeczywistego, ani wirtualnego przedmiotu zabronionego. Nazwano to błędem typu B. Sytuację taką interpretuje się na dwa sposoby. Można założyć, że operator kontroli bezpieczeństwa miał (na podstawie analizy obrazu widzianego na ekranie monitora przeglądarki RTG) uzasadnione obawy i podejrzenie co do zawartości bagażu, a więc wykazał się czujnością, co niewątpliwie jest jego pozytywną cechą. Możliwe jest jednak, że w celu uzyskania dobrej oceny zaznaczał odruchowo, automatycznie i bez dogłębnej analizy obrazu wiele prześwietlonych bagaży jako podejrzane.

Z punktu widzenia bezpieczeństwa przewozu najważniejsze są błędy typu A. Istotą bowiem kontroli prowadzonej przez człowieka z użyciem przeglądarek rentgenowskich jest umiejętność rozpoznawania obrazów przedmiotów zabronionych w bagażu. Liczba błędów typu A jest miarą tej umiejętności. Z kolei błędy typu B mogą dezorganizować pracę PKB, powodując konieczność bardzo częstych kontroli manualnych. Tym samym zmniejsza się przepustowość takiego systemu, ale co ważniejsze – duża liczba fałszywych alarmów osłabia czujność OKB dokonujących kontroli bagaży zaznaczonych jako podejrzane.

1.6.3. Kontrola manualna

Kontrola manualna jest tym elementem systemu kontroli bezpieczeństwa, gdzie czynnik ludzki odgrywa największą rolę. Może ona zostać przeprowadzona zarówno w stosunku do pasażerów, jak i ich bagażu podręcznego i rejestrowanego. Motywacją do jej podjęcia może być obowiązek spełnienia wymogu nałożonego przez przepisy prawne. Może także być wynikiem wątpliwości OKB co do przenoszonych przez pasażera lub personel przedmiotów czy też zawartości bagażu. Jest ona również najczęściej ostatnim etapem kontroli – jej wynikiem jest zawsze decyzja o dopuszczeniu pasażera czy bagażu na pokład samolotu (w przypadku braku lub usunięcia przedmiotu zabronionego) albo odmowa przewozu (z uwagi na występowanie przedmiotu niebezpiecznego). W tym drugim przypadku następują dalsze kroki prawne.

Kontrola manualna przeprowadzana w stosunku do pasażerów stanowi jedną z podstawowych metod kontroli i wykrywania przedmiotów zabronionych ukrytych na ciele osoby. Operator kontroli bezpieczeństwa obligatoryjnie poddaje kontroli manualnej osobę, która wzbudziła jego podejrzenia lub spowodowała alarm stacjonarnego wykrywacza metalu. Dodatkowo OKB zobligowany jest również do

wykonania kontroli manualnej pasażerów zgodnie z określoną w przepisach częstotliwością (w przypadku WTMD). Kontrolę wykonuje się zgodnie z metodologią opisaną w Decyzji (Komisja Europejska, 2015b) ustanawiającej szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego. Podstawowym celem jest upewnienie się, na ile to możliwe, że kontrolowana osoba nie przenosi przedmiotów zabronionych. Obejmuje ona sprawdzenie ciała i odzieży poprzez przesuwanie dłoni, bez ich odrywania, po ciele i odzieży z tyłu i z przodu.

Kontrolę manualną bagażu podręcznego OKB wykonuje w stosunku do wszystkich sztuk bagażu i przedmiotów luzem przenoszonych przez pasażera, co do których zaistniały wątpliwości, że mogą one służyć do popełnienia szeroko rozumianego aktu bezprawnej ingerencji. Kontrola manualna bagażu podręcznego stanowi, ze względu na przepustowość PKB, dodatkową (lecz również wciąż bardzo ważną) formę kontroli bezpieczeństwa w stosunku do kontroli standardowo wykonywanej za pomocą przeglądarek rentgenowskich. W zależności od kategorii osób kontrolowanych (pasażerów lub osób niebędących pasażerami) OKB usuwa z bagażu przedmioty zabronione określone w dodatku 4C (pasażerowie) lub 1A (personel) Rozporządzenia (Komisja Europejska, 2015a).

Zasady kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego niewiele różnią się od kontroli bagażu podręcznego. Istotna różnica polega jedynie na kategorii przedmiotów, które są zabronione do przewozu w bagażu rejestrowanym, a które OKB jest zobowiązany wykryć i zidentyfikować. Z uwagi na przepustowość PKB system kontroli bagażu rejestrowanego jest na większości lotnisk zautomatyzowany i wielopoziomowy. W zdecydowanej większości to urządzenie RTG-EDS samodzielnie dokonuje kontroli zawartości bagażu rejestrowanego, pozostawiając do kontroli manualnej jedynie bagaże wyraźnie zakwestionowane przez system lub OKB. Taki bagaż kontrolowany jest wówczas przez OKB w obecności pasażera, w dedykowanym do tego typu czynności miejscu.

1.7. Ochrona zewnętrzna (peryferyjna)

Oprócz błędu popełnionego podczas kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu, na możliwość zaistnienia aktu bezprawnej ingerencji może mieć wpływ ewentualny nieuprawniony dostęp do newralgicznych z punktu ochrony lotniska obszarów jego infrastruktury. Problematyka ochrony w tym zakresie nazywana jest ochroną peryferyjną. Jej głównym zadaniem jest uniemożliwienie dostępu osób nieuprawnionych do strefy zastrzeżonej lotniska.

W praktyce ochrony peryferyjnej stosuje się przede wszystkim ogrodzenia mające utrudnić lub uniemożliwić fizyczny dostęp na teren lotniska. Problem jest

trudny, gdyż lotnisko zajmuje przeciętnie od kilkuset do kilku tysięcy hektarów powierzchni, a długość jego ogrodzenia wynosi od kilku do kilkunastu kilometrów. Rozporządzenie (MTBiGM, 2019) reguluje standardy ochrony peryferyjnej poprzez określenie wymagań technicznych, jakie musi spełniać ogrodzenie lotniska:

- wykonane z elementów drucianych o grubości drutu nie mniejszej niż 2,5 mm,
- minimalna wysokość nie mniejsza niż 1,8 m,
- nad ogrodzeniem umieszczona zwyżka, wykonana z drutu kolczastego lub drutu ostrzowego,
- całkowita wysokość ogrodzenia liczona od powierzchni ziemi to minimum 2,44 m,
- dolna krawędź ogrodzenia trwale zamocowana poprzez jej zabetonowanie,
- przebieg ogrodzenia, w celu zapewnienia jego odpowiedniego monitorowania, wytyczony po liniach prostych,
- wokół ogrodzenia w celu skutecznego obserwowania pozostawia się wolną przestrzeń o szerokości minimum 3 m.

Oprócz ochrony przez odpowiednie ogrodzenie stosuje się także inne systemy, które odpowiednio wcześniej informują służby ochrony o możliwości wystąpienia zagrożenia i tym samym pozwalają na odpowiednio wcześniejszą reakcję na zbliżające się zagrożenie. W przypadku sforsowania ogrodzenia lub przedostania się w inny sposób na obszar chroniony, pomoc w wykryciu intruzów mogą stanowić:

- Patrole osobowe. Realizowane są one przez służbę ochrony lotniska, pozwalają na okresowe monitorowanie stanu technicznego ogrodzenia oraz weryfikowanie uprawnień osób przebywających w strefie zastrzeżonej lotniska.
- Kabel sensoryczny zakopywany. System działa, wykorzystując zakłócenia pola detekcji powodowane przez intruza. Poziom zakłóceń zależy od właściwości fizycznych obiektu, takich jak masa i szybkość poruszania się.
- Kabel sensoryczny napłotowy. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów pozwala na wykrywanie prób przechodzenia i przecinania ogrodzenia oraz eliminację zakłóceń powodowanych przez wiatr, opady czy drgania podłoża wywołane przez przejeżdżające pojazdy.
- Kamery telewizji przemysłowej (CCTV). Systemy telewizji przemysłowej, realizując swoje podstawowe funkcje, jakimi są: identyfikacją rodzaju zdarzenia, wykrywanie osób, identyfikacja osób, identyfikacja pojazdów, detekcja ruchu, zapis materiałów audio i wideo, oddają użytkownikowi szereg często wyselekcjonowanych informacji, niezbędnych dla utrzymania wymaganego poziomu bezpieczeństwa obszarów, obiektów podlegających zabezpieczeniu.
- Czujniki ruchu. Prawidłowo dobrane czujki ruchu mają za zadanie możliwie wcześnie i niezawodnie alarmować o powstałym zagrożeniu w chronionej strefie czy też obiekcie.

- Radary. Powinny one nie tylko wykrywać fakt naruszenia strefy chronionej, lecz również wskazać miejsce tego naruszenia oraz położenie i kierunek przemieszczania się intruza. Radary przeznaczone są do wykrywania ruchu obiektów naziemnych, takich jak idący lub czółgający się ludzie albo pojazdy.
- Bariery mikrofalowe. Detekcja intruza odbywa się w tych systemach w oparciu o analizę wiązki mikrofalowej pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Zmiana amplitudy sygnału pomiędzy urządzeniami umożliwia określenie wielkości i gęstości obiektu, pozwalając wyeliminować obiekty niebędące potencjalnym zagrożeniem.

Każdy z powyższych systemów oferuje rozwiązania, które w znacznym stopniu zmniejszają ryzyko związane z wtargnięciem intruza na teren lotniska. Oczywiście nie są one pozbawione wad. Istotną tutaj rolę pełni tzw. współczynnik fałszywych alarmów czy też odporność na sabotaż. Jednakże właściwie dobrane elektroniczne systemy ochrony perymetrycznej, wspomagające pracę służby ochrony lotniska, pozwalają na skuteczny nadzór nad ogromną powierzchnią, jaką zajmuje lotnisko, a tym samym stanowią jeden z istotnych elementów całego systemu ochrony lotniska.

1.8. Kultura bezpieczeństwa

Jednym z ważniejszych procesów związanych z zapewnieniem skutecznej ochrony pasażerów i ich bagażu w komunikacji lotniczej jest, oprócz stosowania odpowiednich środków technicznych i osobowych, wdrożenie mechanizmów gwarantujących właściwe zachowanie się personelu. Dotyczy to nie tylko sytuacji kryzysowej, ale także codziennej pracy, gdzie mogą występować sytuacje prowadzące do zagrożenia bezpieczeństwa operacji lotniczych (Zbiegień-Maciąg, 2013). Proces ten został nazwany ogólnie kulturą organizacyjną, która oparta jest na niepisanych, często podświadomych zasadach, wypełniających przestrzeń między pisanymi regułami a rzeczywistością.

U personelu właśnie ta świadomość konsekwencji poszczególnych zachowań dla bezpieczeństwa operacji lotniczych oraz bezpieczeństwa wszystkich osób znajdujących się na terenie lotniska przekształciła się z czasem w pojęcie bardziej precyzyjne, opisujące celowe zachowania pracowników. Jest nim kultura bezpieczeństwa, zawierająca zbiór zasad, według których organizacja postrzega, określa i traktuje bezpieczeństwo ruchu lotniczego (Kirwan & Devine, 2008). Odzwierciedla ona rzeczywiste zaangażowanie personelu w sprawy bezpieczeństwa na wszystkich poziomach organizacyjnych.

W kulturze bezpieczeństwa należy wyróżnić kilka wzajemnie ze sobą powiązanych elementów stanowiących o jej istocie oraz nierozłącznie składających się na

definicję tego pojęcia. Należą do nich kultury: raportowania, elastyczności, uczenia się, informowania oraz sprawiedliwego traktowania (Kirwan & Devine, 2008).

- Kultura raportowania (*Reporting culture*) jest silnie powiązana z szeroko rozumianą świadomością ochrony lotnictwa cywilnego. Podstawową i cyklicznie odnawianą wiedzę w tym zakresie uzyskuje każdy pracownik wykonujący swe obowiązki na lotnisku i posiadający możliwość samodzielnego poruszania się po strefach zastrzeżonych lotniska. Charakteryzuje się ona tym, że personel jest świadomy, jakie zdarzenia podlegają zgłaszaniu, zna zasady i reguły raportowania. Wymaga uczciwego i aktywnego udziału wszystkich pracowników – raportowania wszystkich niepożądanych zdarzeń, mogących w konsekwencji doprowadzić do powstania szeroko rozumianego aktu bezprawnej ingerencji.
- Kultura elastyczności (*Flexible culture*) polega na tym, że personel czynnie uczestniczy we wprowadzanych zmianach, konsultuje decyzje, wyciąga właściwe wnioski. Pozwala ona na właściwe zarządzanie bezpieczeństwem podczas wprowadzania zmian.
- Kultura uczenia się (*Learning culture*) – w jej ramach prowadzone są szkolenia i wydawane biuletyny, których celem jest m.in. przekazanie wniosków z prowadzonych badań zdarzeń oraz informowanie o wprowadzanych zmianach.
- Kultura informowania (*Information culture*) łączy w sobie elementy kultury raportowania, sprawiedliwości, elastyczności i uczenia się. Polega na przekazywaniu informacji zwrotnej zainteresowanym stronom o stanie bezpieczeństwa, o przyczynach zdarzeń po ich zbadaniu, wynikach przeglądów bezpieczeństwa oraz wyciągniętych wnioskach na bazie doświadczeń własnych i innych portów lotniczych.
- Kultura sprawiedliwego traktowania (*Just Culture*) – jest kulturą, w której personel lotniska nie jest karany za nieumyślne działania, przeoczenia czy podjęte decyzje, które są współmierne z ich doświadczeniem i wyszkoleniem. Nie jest tolerowane natomiast rażące zaniedbanie, umyślne naruszenie przepisów czy destrukcyjne działanie, obniżające poziom bezpieczeństwa; podlegają one karze zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa.

Kultura bezpieczeństwa, aby była skuteczna, musi być również w sposób odpowiedni i umiejętny propagowana i promowana w organizacji. Promocja ta może być realizowana na kilka sposobów. Do najczęstszych i powszechnie stosowanych należą szkolenia specjalistyczne, których celem jest utrwalenie wśród personelu właściwych wzorców zachowań, takich jak: współpraca w zespole, odpowiedzialność, świadomość ryzyka, zaangażowanie kierownictwa, kultura sprawiedliwego traktowania, raportowania i uczenia się, właściwa komunikacja.

2. Problem oceny skuteczności systemu kontroli bagażu i osób w kontekście przepustowości portu lotniczego

2.1. Analiza literaturowa

Od lat 80. ubiegłego wieku główny nacisk przy organizacji systemu ochrony lotnictwa kładziony był na zapobieganie porwanom samolotów (Seidenstat & Splane, 2009). Jednak od czasu zamachów z 11 września 2001 roku najwięcej uwagi poświęca się kwestiom zagrożeń terrorystycznych, a zwłaszcza aktów bezprawnej ingerencji z wykorzystaniem niewielkich ilości bardzo silnych substancji wybuchowych. Zagadnienie to omówiono w (Wells & Bradley, 2012). W pracy zasygnalizowano zależność skuteczności kontroli zarówno od czynnika ludzkiego, jak i od urządzeń rentgenowskich; skupiono się jednak na aspekcie technicznym i były analizowane rozłącznie. W niniejszej pracy dokonano próby syntezy czynnika ludzkiego i technicznego oraz rozszerzono analizę o inne ważne aspekty, na przykład kontrolę manualną.

Wśród prac zajmujących się ściśle tematyką systemu ochrony lotniska warto wymienić pracę (Gkritza et al., 2006), w której wskazano na konieczność nie tylko zapewnienia właściwego poziomu ochrony portu lotniczego, ale jednocześnie minimalizacji uciążliwości tego procesu dla pasażera. Nowy sposób realizacji oczekiwania do kontroli bezpieczeństwa zaproponowano w (de Lange et al., 2013), gdzie wykazano duże oszczędności, możliwe do uzyskania dzięki zastosowaniu tzw. wirtualnych kolejek.

Obszerny przegląd współczesnych systemów i metod wykrywania materiałów wybuchowych, także w lotnictwie, można znaleźć w (Caygill et al., 2012; Singh & Singh, 2003). Natomiast analizę nowoczesnego podejścia do zagadnień zintegrowanej kontroli bagażu rejestrowanego przedstawiono w (Butler & Poole, 2002). Opracowania te nie podejmują jednak próby oceny ilościowej skuteczności poszczególnych metod.

Omawiane zagadnienie należy do klasy problemów, gdzie wiedza jest niepewna i nie daje się wyrazić ścisłymi zależnościami. Niepewność nie wynika jednak z braku możliwości pomiaru wielkości wejściowych, ale z subiektywizmu oceny wielkości wyjściowej. Ocena ta musi być dokonana przez ekspertów, którzy przy jej formułowaniu muszą wziąć pod uwagę zarówno czynniki subiektywnie wyrażane, takie jak komfort i zadowolenie pasażerów (Kardas-Cinal, 2013), jak i czynniki obiektywne, do których można zaliczyć np. przepustowość punktu kontroli (Wu & Mengersen, 2013). Te pierwsze mogą być wyrażone wielkościami lingwistycznymi, te drugie – numerycznymi. Oceny tego rodzaju skłaniają do stosowania metod rozmytych lub zbiorów przybliżonych (Greco et al., 2001). Zagadnienie podejmowania decyzji w podobnych warunkach przez wielu decydentów przedstawiono w (Skorupski, 2014). Wskazuje się również na konieczność korzystania z doświadczeń innych dziedzin nauki, np. medycyny (Wetter, 2013).

Analiza literatury z zakresu organizacji i oceny systemów kontroli bezpieczeństwa w portach lotniczych wskazuje na kilka istotnych nurtów badawczych. Należą do nich:

- przepustowość systemów kontroli,
- strona techniczna procesu prześwietlania bagażu,
- możliwość właściwej interpretacji obrazu,
- zakres czynności kontrolnych,
- subiektywnie rozumiany komfort pasażera.

W badaniach bardzo duży nacisk kładziony jest na problematykę przepustowości systemów kontroli bezpieczeństwa. Analizy dotyczące przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa (PKB) są często spotykane w literaturze (Malarski & Skorupski, 2012; Kierzkowski & Kisiel, 2015). Czynniki wpływające na czas przebywania pasażera w punkcie kontroli bezpieczeństwa przeanalizowano w pracy (Hainen et al., 2013). Do ważnych prac można tu zaliczyć (Butler & Poole, 2002; Leone & Liu, 2005). Van Boekhold i in. (2014) przedstawili w mikroskali model pozwalający na oszacowanie czasu oczekiwania w zależności od przyjętych procedur kontroli. Szczególny problem stanowią pasażerowie „negocjujący” sposób przeprowadzania kontroli. Inne spojrzenie na problem przedstawiono w (Kirschenbaum, 2013; 2015), gdzie analizowano indywidualne cechy pasażera wpływające na przepustowość PKB. Pokazano, że tego rodzaju pasażerowie mają największy wpływ na opóźnienia w procesie kontroli i jednocześnie największy udział w rosnących stale kosztach zapewnienia bezpieczeństwa w porcie lotniczym. O alternatywnych metodach finansowania zapewnienia bezpieczeństwa w porcie lotniczym traktuje praca (Prentice, 2015). Podobne problemy przepustowości występują także w innych gałęziach transportu (Wawrzyński et al., 2014; Pyza, 2010; Zabłocki & Ilczuk, 2013; Abramowicz-Gerigk, 2012).

Podjęmowane są próby opracowania alternatywnych rozwiązań, integrujących wszystkie rodzaje kontroli, którym poddawany jest pasażer i jego bagaż (Yildiz et al., 2008). Przegląd nowych metod można znaleźć w pracy Leone i Liu (2011). Do ciekawszych można zaliczyć metodę, w której pasażerowi dynamicznie przypisuje się poziom ryzyka (Nikolaev et al., 2012; Nie et al., 2012). Szersze stosowanie metod opartych na szacowaniu ryzyka sugerują Wong i Brooks (2015). Z kolei Wienenke & Koch (2009) zaproponowali metodę polegającą na automatycznym śledzeniu i klasyfikowaniu przemieszczających się pasażerów, z wykorzystaniem wielu czujników chemicznych. Metoda ta pozwala na lokalizowanie zagrożeń i szybkie informowanie operatorów kontroli bezpieczeństwa. Badania statystyczne czasu oczekiwania przed stanowiskiem kontroli bezpieczeństwa przedstawili Barros i Tomber (2007).

Z kolei Sewell i in. (2013) zaproponowali interesujące podejście, w którym przedstawili model w postaci nieliniowego zadania programowania całkowitoliczbowego – problem przepustowości został w nim uwzględniony w postaci ograniczenia. Wu i Mengersen (2013) zaproponowali analizowanie systemów kontroli przy jednoczesnym uwzględnianiu kryterium przepustowości i skuteczności. Podobne podejście prezentują Lee i Jacobson (2011), jednak w obu tych pracach skupiono się wyłącznie na przepustowości, zaś sposób obliczania skuteczności kontroli nie został precyzyjnie określony. W niniejszej pracy rozwinięto badania, odnosząc się do obu tych obszarów.

Bezpieczeństwo w porcie lotniczym zależy od wielu czynników. Omówiono je szerzej w wielu pracach (Gerstenfeld & Berger, 2011; Uchroński & Skorupski, 2014; Uchroński, 2011). Najogólniej można te czynniki podzielić na techniczne (Uchroński & Skorupski, 2015c) oraz ludzkie (Uchroński & Skorupski, 2015d). Człowiek występuje w systemie zabezpieczenia portu lotniczego w wielu rolach i na wielu szczeblach działania tego systemu. Na poziomie operacyjnym – w roli kontrolującego bagaż i pasażerów, patrolującego teren w poszukiwaniu osób, które w sposób nieuprawniony dostały się na teren zastrzeżony lotniska. Na poziomie taktycznym – w roli organizatora i kontrolującego (nadzorującego) działania wszystkich służb. Na poziomie strategicznym – w roli ustanawiającego przepisy i normy prawne. Z drugiej strony to człowiek jest głównym źródłem zagrożenia, któremu mają przeciwdziałać służby ochrony lotniska (Price & Forrest, 2013).

Rola czynnika ludzkiego w lotnictwie cywilnym, a w szczególności w jego ochronie, stała się przedmiotem badań stosunkowo niedawno, bo w latach 70. ubiegłego stulecia. Bezpośrednim bodźcem do intensyfikacji działań i tworzenia nowych, bardziej restrykcyjnych regulacji prawnych były wydarzenia w USA 11 września 2001 (Seidenstat & Splane, 2009). Zwrócono uwagę także na szkolenie personelu w zakresie umiejętności wykrywania zagrożeń oraz odpowiedniego reagowania

na wszelkiego typu niestandardowe zachowania pasażerów (Dąbrowska, 2011). Konsekwencje błędu człowieka, wynikającego z działania świadomego lub braków w wyszkoleniu, mogą bowiem być katastrofalne dla lotniska, przewoźnika i pasażerów (Price & Forrest, 2013). Świadomość roli człowieka jako czynnika, który może istotnie wpłynąć na poziom bezpieczeństwa w transporcie lotniczym powoduje, że jest on traktowany szczególnie uważnie w ochronie lotnictwa cywilnego. Przejawem tego są na przykład kontrole przeprowadzane przez krajowych audytorów jakości, którzy w sposób niejawną dokonują testów systemu ochrony lotniska. Testy polegają m.in. na prowokacji – próbie wniesienia na pokład statku powietrznego przedmiotu zabronionego lub niebezpiecznego, ukrytego w bagażu. Wynik testu stanowi podstawę oceny pracy OKB, który został poddany testowi (Schwaninger et al., 2004). Oprócz wiedzy merytorycznej niezwykle istotne są predyspozycje psychofizyczne, pozwalające pracownikowi skutecznie realizować zadania. Nie może bowiem pracy OKB wykonywać osoba niepotrafiąca rozróżnić kolorów lub mająca poważną wadę wzroku. Wynika to choćby z samego charakteru obrazu generowanego przez urządzenie rentgenowskie (Flitton et al., 2013). Bardzo duży wpływ na przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa podczas wykonywania tej pracy ma również doświadczenie pracownika, pozwalające mu na samodzielną i skuteczną realizację zadań, oraz jego postawa.

Mechanizm działania systemu ochrony lotnictwa cywilnego oparty jest na zasadzie ograniczonego zaufania. Wszelkie czynności podejmowane w stosunku do pasażera i jego bagażu mają na celu wykrycie przedmiotów zabronionych, za pomocą których pasażer terrorysta mógłby dokonać aktu bezprawnej ingerencji (Butler & Poole, 2002). OKB mają do dyspozycji coraz bardziej zaawansowane technicznie specjalistyczne urządzenia do kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu, jednak to człowiek zawsze będzie ogniwem łączącym technikę i proces decyzyjny. Urządzenia natomiast zawsze pozostaną jedynie elementem wspomagającym pracę człowieka.

Niniejsza praca zawiera analizę różnych aspektów działalności operatora kontroli bezpieczeństwa pod kątem skuteczności działań w eliminowaniu zagrożeń.

Proces kontroli bagażu rejestrowanego w dużym stopniu odbywa się automatycznie (Wells & Bradley, 2012). Człowiek jednak stanowi ważny element tego procesu, gdyż zdolność do analitycznego myślenia, dokonywania oceny z uwzględnieniem wszystkich czynników specyficznych dla konkretnego przypadku sprawia, że zawsze będzie on nieodzownym ogniwem systemu ochrony. Z drugiej strony od jego predyspozycji psychofizycznych, a także wyszkolenia oraz motywacji zależeć będzie skuteczność systemu ochrony lotniska, w tym systemu kontroli bagażu rejestrowanego (Schwaninger et al., 2004). Podkreślić należy, że system kontroli bezpieczeństwa na lotnisku jest na tyle skuteczny, na ile skuteczni są pracownicy dokonujący kontroli.

Graves i in. (2011) dokonali analizy czynników wpływających na skuteczność systemów kontroli bagażu i osób w porcie lotniczym, uwzględniając fakt, że systemy te powinny być projektowane ze świadomością, że OKB i tak jest ich elementem krytycznym. W pracy (McCarley, 2009) wskazano na istotną rolę, jaką w poprawie skuteczności pracy OKB odgrywają wszelkiego rodzaju, nawet drobne, pomoce wskazujące na konieczność zwrócenia szczególnej uwagi na określony bagaż. Z kolei Wales i in. wykorzystali w swej pracy (2009) system projekcji wirtualnych obrazów zagrożeń (TIP) do oceny kompetencji OKB. Stwierdzono w niej liniową zależność między czasem reakcji a liczbą wykrytych obrazów zabronionych. W niniejszej pracy również wykorzystuje się statystyki systemu TIP, jednak w znacznie szerszym zakresie, zarówno do oceny doświadczenia operatora, jak i szacowania liczby popełnianych przez niego błędów. Ogólnie można stwierdzić, że podstawowymi czynnikami wpływającymi na popełnianie przez OKB błędów są: złożoność ocenianego obrazu, ułożenie zabronionego przedmiotu w bagażu w stosunku do osoby kontrolującej oraz stopień nakładania się różnych obrazów sąsiadujących z przedmiotem zabronionym (Michel et al., 2010).

2.2. Ocena urządzeń

Jak wykazują badania Yoo i Choi (2006), najważniejszym czynnikiem wpływającym na skuteczność kontroli w PKB i jego przepustowość jest czynnik ludzki. Jednak wyposażenie techniczne, jego sprawność i umiejętne użycie również są bardzo istotne. Elementy te zostały przebadane w niniejszej pracy pod kątem skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych oraz przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa. To ważne zagadnienie, gdyż są one kosztownym ogniwem systemu bezpieczeństwa portu lotniczego, w dodatku nie zawsze efektywnie wykorzystywanym (Stewart & Mueller, 2014, 2015; Gerstenfeld & Berger, 2011; Gillen & Morrison, 2015). Łatwo jest bowiem uzasadnić ponoszenie kosztów na rozbudowę infrastruktury w zakresie bezpieczeństwa, jednak znacznie trudniej jest określić ilościowo faktyczny efekt tych inwestycji (Stewart, 2010).

W literaturze dość często analizowane są kwestie techniczne związane z urządzeniami do prześwietlania bagażu. Interesujące wprowadzenie w technologię przeprowadzania kontroli rentgenowskich oraz skuteczność urządzeń w odniesieniu do różnych substancji można znaleźć w pracy Wellsa i Bradleya (2012). Podobne zagadnienia w odniesieniu do systemów EDS analizowali Singh i Singh (2003). Oddzielną grupą urządzeń wykorzystywanych w kontroli bagażu kabinowego są detektory śladowych ilości materiałów wybuchowych (Sekhar et al., 2011). W niniejszej pracy te urządzenia nie zostały uwzględnione, gdyż nie są powszechnie stosowane w Europie, choć mają zastosowanie w Stanach

Zjednoczonych. Obszerny przegląd dostępnych metod wykrywania substancji wybuchowych opracowali Caygill i in. (2012). W niniejszej pracy – zgodnie z (Uchroński & Skorupski, 2015c) – uwzględniono w ocenie urządzeń rentgenowskich liczbę i częstotliwość wyświetlania obrazów TIP (*Threat Image Projection*), ogólną zdolność do wykrywania substancji zabronionych (zależną od poziomu technologicznego urządzenia), liczbę generatorów rentgenowskich i związanych z nimi linii detekcyjnych oraz wiek urządzenia, obrazujący możliwe pogarszanie się jego wartości użytkowych.

Feng i in. (2009) dokonali próby analizy zależności między niezawodnością systemu kontroli bagażu rejestrowanego a jego skutecznością. Uwzględnili dwa rodzaje błędów popełnianych przez OKB i zaproponowali reguły postępowania dla systemu z dwoma poziomami kontroli. Niniejsza praca zawiera aż cztery poziomy kontroli stosowane we współczesnych systemach. Definiują one z kolei pięć różnych wariantów organizacji procesu kontroli. Dodatkowo, w odróżnieniu od pracy Fenga i in. (2009), w której przyjęto nierealistyczne założenia co do prawdopodobieństwa błędów operatorów, analizowane są rzeczywiste przypadki pochodzące z pomiarów.

W pracy (Nie, 2011) przedstawiono metodę analizy skuteczności systemu kontroli bazującą na grupowaniu bagażu w zależności od klasy zagrożenia. Dla poszczególnych klas dokonano oceny ryzyka i zaproponowano sekwencje wykorzystania poszczególnych prześwietlań rentgenowskich. Warto zwrócić uwagę na trzy główne nurty badań nad zagadnieniem poprawy jakości systemu kontroli bagażu rejestrowanego: techniki optymalizacji dyskretnej, metody symulacyjne i analizy kosztowo-efektywnościowe.

Zagadnienie kompetencji OKB w zakresie interpretacji obrazu bagażu kabinowego uzyskiwanego z urządzeń rentgenowskich podjęli Michel i in. (2014). Wykazali eksperymentalnie, że szkolenie z wykorzystaniem symulatorów komputerowych pozwala na znaczne zwiększenie umiejętności wykrywania przedmiotów zabronionych wśród OKB. Szczególny problem, zwłaszcza w obszarze kontroli bagażu kabinowego, stwarzają urządzenia elektroniczne o zwartej konstrukcji, takie jak laptopy. Mendes i in. (2012) wykazali eksperymentalnie, że skuteczność kontroli bagażu kabinowego zmniejsza się drastycznie w przypadku pozostawienia urządzeń typu laptop w bagażu. Na obiektywną możliwość wykrycia zabronionego przedmiotu w bagażu mają wpływ także takie czynniki jak: wielkość bagażu, jego ułożenie, wzajemne przesłanianie przedmiotów (Bolfing et al., 2008). Wszystkie te kwestie, aczkolwiek interesujące, mają mniejsze znaczenie wobec przedstawionych w tej pracy odpowiednich pomiarów na rzeczywistym stanowisku kontroli, w rzeczywistym ruchu pasażerskim. Badania te pozwoliły odizolować się od przyczyn błędów popełnianych przez OKB. Uwzględnia się bowiem błędy popełniane w konkretnych warunkach analizowanego portu lotniczego.

Inną podejmowaną w literaturze problematyką jest zakres czynności kontrolnych i stopień ingerencji w zawartość bagażu pasażera, a nawet naruszania jego intymności. Jako podstawowe narzędzie do określania zakresu kontroli wykorzystuje się tzw. profilowanie, to znaczy szacowanie ryzyka, jakie stwarza pasażer, na podstawie takich czynników jak jego zachowanie, wyniki kolejnych etapów kontroli, kierunek lotu i inne. Do ciekawszych można zaliczyć metodę, w której pasażerowi dynamicznie przypisuje się poziom ryzyka (Nikolaev et al., 2012; Nie et al., 2012). Zakłada ona, że profilowanie pasażera i dynamiczne określanie zakresu kontroli zwiększa bezpieczeństwo i przepustowość systemu. O trudnościach w stosowaniu profilowania traktuje natomiast praca Poole'a (2015). W niniejszej publikacji poruszono dodatkowo kwestię liczby obowiązkowych kontroli manualnych oraz zdefiniowano dwa rodzaje kontroli manualnej bagażu kabinowego o różnej skuteczności.

Z kwestią zakresu kontroli wiąże się sprawa komfortu pasażera oraz jego subiektywnego poczucia bezpieczeństwa. Pasażer, mimo drobiazgowości kontroli, której był poddany, może nie czuć się w pełni bezpieczny (Benda, 2015). Czynności związane z kontrolą bezpieczeństwa są odbierane przez większość pasażerów jako nieprzyjemne i traktowane jako pewnego rodzaju uciążliwość. Prowadzi to czasem do napięć, konfliktów, a nawet agresji na linii pracownik PKB – pasażer. Gkritza i in. (2006) przeanalizowali, jaki wpływ na subiektywnie odczuwane zadowolenie pasażera ma rodzaj i intensywność podejmowanych czynności kontrolnych. Podobne prace prowadzili Alards-Tomalin i in. (2014). Ich badania wykazały, że rodzaj podejmowanych przez OKB działań ma duży wpływ na subiektywne postrzeganie poziomu bezpieczeństwa w lotnictwie. Jest ono uzależnione po części także od poziomu świadomości zagrożeń w transporcie lotniczym oraz od uwarunkowań kulturowych czy religijnych (Rusiłowicz, 2011). Ogólnie wyniki prac w tym obszarze wskazują na dość oczywisty fakt, że im wyższy poziom skuteczności kontroli chcemy uzyskać, tym niższa jest przepustowość punktu kontroli oraz niższe poczucie komfortu i satysfakcji pasażera. Przedstawione w niniejszej pracy badania pozwalają na dobranie takich parametrów konfiguracji systemu kontroli osób na lotnisku, aby przy założonym poziomie bezpieczeństwa minimalizować uciążliwość dla pasażerów, a tym samym maksymalizować ich poziom satysfakcji oraz przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa.

2.3. Metodyka badań

Analizując literaturę od strony stosowanych metod badawczych, można zauważyć kilka nurtów. W tym krótkim przeglądzie przedstawione zostaną głównie te metody, które stosowane są także w niniejszej pracy. W analizie systemów transportowych bardzo często stosuje się metody symulacyjne, jako że

eksperymentowanie na rzeczywistym systemie jest trudne lub wręcz niemożliwe (Jacyna et al., 2014; Chudzikiewicz & Melnik, 2010; Merkisz-Guranowska et al., 2013; Choromański, 1999; Kozłowski & Choromański, 2014; Smolarek & Blokus-Roszkowska, 2013). Wiele zależności zachodzących w analizowanym systemie ma charakter intuicyjny, subiektywny i nie poddaje się jednoznacznejmu opisowi. Konieczne jest więc analizowanie procesów decyzyjnych w kontekście niepewności (Dubois & Prade, 1992; Pietrzykowski et al., 2010; Gucma & Pietrzykowski, 2006; Żurek & Grzesik, 2013; Lower et al., 2013). Powoduje to konieczność stosowania metod rozmytych lub wykorzystujących teorię zbiorów przybliżonych (Greco et al., 2001). Akgun i in. (2010) przedstawili interesujący model, w którym rozpatrzyli podatność elementów infrastruktury krytycznej, do których należą też porty lotnicze, na ataki terrorystyczne. Zaproponowane podejście nazwano FIVAM (Fuzzy Integrated Vulnerability Assessment Model). Jest ono oparte na teorii zbiorów rozmytych i nastawione na poszukiwanie ukrytych luk w systemie, pochodzących z jego wewnętrznych zależności funkcjonalnych. Z kolei Liou i in. (2011) zaproponowali wykorzystanie zbiorów przybliżonych opartych na dominacji do badania systemów obsługowych na lotniskach. Podstawą opracowanego modelu jest zbiór reguł decyzyjnych w postaci „if ... then ...”. Podobne reguły, ale w postaci rozmytych zdań warunkowych, zostały wykorzystane w tej pracy.

Wu i Mengersen (2013) zasugerowali konieczność analizy systemów bezpieczeństwa lotniska w ujęciu dwukryterialnym, uwzględniającej zarówno kryterium przepustowości, jak i skuteczności ochrony. Podobne podejście proponują w swej pracy Jackson & LaTourrette (2015). Niniejsza praca stanowi próbę dostarczenia narzędzia do określania drugiego z tych kryteriów. Ogólnie w literaturze brakuje analizy skuteczności systemu kontroli bagażu i osób, zwłaszcza uwzględniającej czynnik ludzki, w tym aspekty subiektywne i niepoddające się precyzyjnemu opisowi.

Od strony metodologicznej proces kontroli pasażerów w porcie lotniczym analizowano różnymi metodami. Na przykład Conho & Ramirez-Marquez (2012) zaproponowali podejście wielokryterialne ewolucyjne. Jako kryteria uwzględniono skuteczność kontroli, jej koszt i przepustowość PKB (Benda, 2015). W obszarze analizy bezpieczeństwa infrastruktur krytycznych badania z wykorzystaniem aparatu zbiorów rozmytych prowadzili Oliva i in. (2011).

Ze względu na swój charakter, system kontroli bezpieczeństwa w większości przypadków badany jest z wykorzystaniem modeli, bowiem eksperymentowanie na działającym systemie jest w zasadzie wykluczone. Jacobson & Kobza (2003) zaproponowali zastosowanie modeli optymalizacji dyskretnej do rozwiązywania problemów związanych z optymalnym rozmieszczeniem urządzeń

zabezpieczających podczas kontroli bagażu na lotniskach. Skorupski et al. (2018) wykorzystali w swej pracy kolorowane sieci Petriego i modelowanie symulacyjne do oceny przepustowości systemu kontroli bagażu rejestrowanego. Analogiczne podejście symulacyjne zastosowali AlKheder et al. (2019). System transportu bagażu (ang. BHS – Baggage Handling System) był także badany z wykorzystaniem modelowania symulacyjnego przez Cavada et al. (2017). We wcześniejszych badaniach również wykorzystywane były z powodzeniem systemy wnioskowania rozmytego do oceny skuteczności systemu kontroli pasażerów jako całości (Skorupski & Uchroński, 2016), a także bramek WTMD do kontroli pasażerów (Skorupski & Uchroński, 2017). Praca Yoo & Choi (2006) dotyczyła wykorzystania metody analitycznego procesu hierarchicznego do zbadania względnej ważności środków służących poprawie kontroli bezpieczeństwa pasażerów na lotnisku. Concho & Ramirez-Marquez (2012) zaproponowali model optymalizacji wielocelowej w celu optymalizacji bezpieczeństwa kontroli pasażerów, kosztu kontroli i czasu przetwarzania. Do rozwiązania tego modelu zastosowali podejście ewolucyjne. Li et al. (2018) zaproponowali sieciowy model kolejowania do wykonania symulacji przepustowości pasażerów w punkcie kontroli bezpieczeństwa na lotnisku. Modele oparte na teorii gier również były stosowane w analizie systemów bezpieczeństwa w porcie lotniczym (Janssen et al., 2020b).

Wielu badaczy zadaje sobie pytanie, na ile skuteczna jest kontrola bezpieczeństwa i w jaki sposób tę skuteczność zwiększyć. Podkreśla się istotność wyszkolenia OKB oraz ich zdolności psychofizycznych dla skuteczności kontroli (McCarley et al., 2004; Michel et al., 2014; Bolfig et al., 2008). Wykazano również związek skuteczności kontroli z cechami fizycznymi kontrolowanego bagażu (Dorton & Liu, 2016). Stosunkowo wiele prac analizuje skuteczność wstępnego profilowania jako nowego podejścia do organizacji procedury kontroli (Boekhold et al., 2014). W podejściu tym bazuje się na ocenie ryzyka dla poszczególnych pasażerów (Stewart & Miller, 2016). W systemach automatycznego rozpoznawania przedmiotów zabronionych, stosowanych głównie w kontroli bagażu rejestrowanego, szczególnie istotna jest jakość obrazu uzyskiwanego z urządzenia RTG (Wu et al., 2008), ale także niezawodność automatyki i wydajność systemu człowiek–maszyna (Huegli et al., 2020; Hättenschwiler et al., 2018). Całościową analizę skuteczności systemu kontroli pasażerów i bagażu w porcie lotniczym przedstawiono w (Skorupski & Uchroński, 2018).

W literaturze wykazano, że przepustowość systemu kontroli pasażerów zależy w dużym stopniu od organizacji procesów przygotowania pasażera do kontroli (Lee & Jacobson, 2011). W samym procesie kontroli duże znaczenie dla przepustowości ma czas niezbędny do podjęcia decyzji o zakwalifikowaniu bagażu jako potencjalnie niebezpiecznego (Wales et al., 2009). Zależność przepustowości

od czynników ekonomicznych przedstawili Gillen & Morrison (2015). Sterchi & Schwaninger (2015) badali pod kątem przepustowości wykorzystanie systemu EDS (Explosive Detection System) do inspekcji bagażu kabinowego. Analizę przepustowości połączoną z analizą niezawodności systemu kontroli bagażu rejestrowanego przedstawili Feng et al. (2009). Przykład analizy przepustowości systemu kontroli dla wybranego portu lotniczego przedstawiono w (Kierzkowski & Kisiel, 2017). Janssen et al. (2020a) badali wpływ typu pasażera na przepustowość systemu kontroli.

2.4. Problematyka zagadnienia

Przegląd literatury wskazuje na brak skutecznych metod oceny stanu systemu kontroli osób i bagażu w porcie lotniczym, a zwłaszcza w połączeniu z jego skutecznością i przepustowością. Przyjmuje się, że spełnienie wszystkich wymaganych przepisami warunków gwarantuje należyty poziom ochrony, a przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa stanowi wypadkową skuteczności tejże kontroli i doświadczenia operatora kontroli bezpieczeństwa. Jest to podejście o tyle słuszne co do zasady, co uniemożliwiające racjonalizację nakładów na organizację systemu ochrony.

Brakuje na przykład metody, która pozwalałaby w sposób kompleksowy ocenić skuteczność i przepustowość systemu kontroli bagażu kabinowego. Kompleksowy, to znaczy uwzględniający zarówno czynnik techniczny – w postaci urządzenia rentgenowskiego do prześwietlania zawartości bagażu – jak i czynnik ludzki. W tej pracy czynnik ludzki jest uwzględniony w dwóch aspektach. Z jednej strony poprzez uwzględnienie błędów, które popełniają OKB przy interpretacji obrazu prześwietlonego bagażu. Z drugiej strony czynnik ludzki manifestuje się w rozważaniach na temat kontroli manualnej bagażu podręcznego. Nie poprzestaje się przy tym jedynie na ocenie częstości tej kontroli, ale rozważa się także motywację dla jej przeprowadzania, która ma zasadnicze znaczenie dla jej skuteczności. W literaturze brak także rozwiązań o charakterze systemu eksperckiego, który pozwoliłby wyeliminować człowieka z bieżącego procesu decyzyjnego, jednocześnie uwzględniając wiedzę i doświadczenia eksperckie.

Nieco więcej uwagi poświęcono w dotychczasowych badaniach analizie systemu kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego. Jednak i tu występuje konieczność rozszerzenia badań. Nie ma bowiem w literaturze analizy skuteczności systemu kontroli w zależności od przyjętego wariantu organizacji. Co więcej, istniejące próby bazują na nierealistycznych założeniach i pomiarach. Tu również, podobnie jak w przypadku bagażu kabinowego, brak jest rozwiązań, które integrowałyby w ocenie zarówno czynnik techniczny, ludzki, jak i organizacyjny.

Brak jest także analizy, jaką jest np. ilościowa zależność pomiędzy parametrami bramki WTMD a możliwością skutecznego wykrycia zabronionego przedmiotu. W analizie tej najważniejsza jest czułość bramki, czyli minimalna masa metalowego przedmiotu, który może być wykryty przez bramkę. Jednak mówiąc o skuteczności pracy PKB, należy uwzględnić również czynnik ludzki. I tu istotne stają się także inne parametry bramki, takie jak liczba obszarów detekcji czy wizualizacja zagrożenia. Wielkości te mogą być wyrażone liczbowo, jednak ich wpływ na pracę człowieka nie może być określony ściśle, gdyż ma charakter subiektywny. Stąd propozycja zastosowania mechanizmu wnioskowania rozmytego. Analizy tego rodzaju brakuje w literaturze, a jest potrzebna, gdyż umożliwi zarządzającemu portem lotniczym racjonalną alokację posiadanego sprzętu do realizowanych zadań. Może być również pomocna przy planowaniu nowych inwestycji.

Mając powyższe na uwadze, w pracy zaproponowano model matematyczny oparty o teorię wnioskowania rozmytego, w którym na wyjściu uzyskuje się ocenę skuteczności systemu zabezpieczeń lotniska jako czynnika zapewnienia ciągłości działania portu lotniczego w odniesieniu do kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu. Ocena ta będzie wyrażona wartością zmiennej lingwistycznej, a sposób jej uzyskania będzie uwzględniał wszystkie niezbędne czynniki związane z analizowanym systemem: kontrolę bagażu rejestrowanego, podręcznego oraz osób. Będzie również uwzględniał wpływ otoczenia w postaci wybranych charakterystyk środowiska operacyjnego i organizacyjnego.

Opracowany model, wraz z jego komputerową implementacją w systemie SciLab, może być traktowany jako system ekspercki do wspomagania decyzji dla osób odpowiedzialnych w praktyce za dobór infrastruktury, wyposażenia technicznego i personelu na potrzeby systemu ochrony lotniska.

2.5. Zakres wykonanych badań

Celem pracy jest opracowanie metody oceny skuteczności systemu kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu pod kątem możliwości wykrycia przedmiotów zabronionych do przewozu oraz przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa. Zakres badań obejmuje kontrolę bagażu rejestrowanego, kabinowego oraz kontrolę pasażerów. Ważnym elementem pracy jest również fakt, iż metoda oceny przepustowości PKB i skuteczności kontroli osób i bagażu może mieć zastosowanie do nowszych generacji urządzeń służących do kontroli osób i bagażu.

Najogólniej można przyjąć, że miarą skuteczności systemu kontroli bezpieczeństwa jest liczba przedmiotów zabronionych dopuszczonych do przewozu. Niestety, liczby tej nie sposób określić empirycznie. Gdybyśmy bowiem posiadali jakąś dodatkową metodę stwierdzenia, że bagaż zawiera przedmiot zabroniony, to metoda

ta zostałaby zastosowana podczas kontroli i przedmiot ten nie zostałby dopuszczony na pokład samolotu. W powiązaniu z faktem, że czynniki wpływające na skuteczność kontroli bezpieczeństwa są częściowo także niemierzalne i subiektywne, konieczne jest stworzenie systemu wnioskowania wykorzystującego wiedzę niepewną i nieprecyzyjną.

Podstawowy problem badawczy, który postawiono w tej pracy, polega na stworzeniu modelu rozmytego i systemu eksperckiego, który na podstawie subiektywnej, niepełnej i nieprecyzyjnej informacji o zależności parametrów wyjściowych od wejściowych pozwoli na ocenę skuteczności wybranych elementów systemu kontroli osób i bagażu w wykrywaniu przedmiotów zabronionych. System ten może być wykorzystany we wszystkich analizach wielokryterialnych, uwzględniających także przepustowość PKB czy satysfakcję pasażera. W tym ostatnim przypadku mamy również do czynienia z ocenami subiektywnymi. Proponowana struktura modelu rozmytego ułatwi zatem uwzględnienie tego czynnika w przyszłych badaniach.

3. Systemy wnioskowania rozmytego jako narzędzie służące do oceny skuteczności kontroli bezpieczeństwa

3.1. Wprowadzenie

W działalności technicznej, w tym w procesach transportowych, wielokrotnie spotkać się można z sytuacjami, kiedy informacja jest nieprecyzyjna lub niekompletna. W takich przypadkach decyzje podejmowane są w warunkach niepewności. Występuje wiele rodzajów niepewności i różnorodne są sposoby i metody matematyczne służące do ograniczania niekorzystnego wpływu niepewności na podejmowane decyzje. Do najczęściej spotykanych w transporcie rodzajów niepewności można zaliczyć:

- niepewność stochastyczną, która zachodzi wówczas, gdy konsekwencje decyzji są zależne od czynników losowych; przy tego rodzaju problemach wykorzystuje się rachunek prawdopodobieństwa,
- niepewność pomiarową, która zachodzi wówczas, gdy stosowane metody pomiaru nie dają precyzyjnego wyniku; stosuje się wówczas metody statystyczne,
- niepewność informacyjną, która zachodzi wówczas, gdy precyzyjna informacja o zjawisku jest trudna do uzyskania; stosujemy wówczas np. metody typu „data mining”,
- niepewność lingwistyczną, która ma miejsce wówczas, gdy subiektywna lub intuicyjna wiedza pozyskiwana jest od eksperta, wyrażającego ją w języku naturalnym, w sposób nieformalny; stosuje się metody rozmyte.

W systemach kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu w portach lotniczych mamy do czynienia z sytuacją, gdzie wiedza o skuteczności kontroli nie może być uzyskana w sposób pomiarowy. Jedyny obiektywny sposób pomiaru to analiza liczby aktów bezprawnej ingerencji dokonanych na pokładach statków powietrznych z wykorzystaniem przedmiotów, które nie zostały wykryte przez kontrolę bezpieczeństwa. Bazowanie na takich danych jest jednak dalece niewystarczające, bowiem jest oczywiste, że liczba takich zdarzeń stanowi ułamek liczby przedmiotów zabronionych, które do samolotu się dostały.

Ze względu na brak możliwości pomiarowych konieczne jest pozyskiwanie wiedzy od ekspertów dziedzinowych. Osoby te posługują się najczęściej językiem niesformalizowanym, potocznym, zaś wiedza jest wyrażana w sposób nieprecyzyjny i przybliżony. Mamy więc do czynienia z klasyczną sytuacją działania w warunkach niepewności lingwistycznej. W związku z tym w pracy wykorzystano systemy wnioskowania rozmytego bazującego na logice rozmytej. Ze względu na rozmiary pracy, formalny opis podstaw teoretycznych zastosowanych metod będzie skrótowy, z odesłaniem do odpowiednich pozycji literaturowych.

3.2. Zbiory rozmyte

Teoria zbiorów rozmytych została zapoczątkowana w 1965 roku przez matematyka Lotfiego A. Zadeha (Zadeh, 1965, 2015). Po początkowych trudnościach związanych z krytyką proponowanego podejścia, jest obecnie bardzo intensywnie rozwijana i jej rola w zastosowaniach informatycznych matematyki, w tym także w zastosowaniach użytkowo-technicznych, rośnie.

Praktyczną motywacją do rozwoju tej dziedziny matematyki była potrzeba stworzenia aparatu matematycznego, który umożliwiłby przetwarzanie informacji lingwistycznej dla celów wspomaganie decyzji, które człowiek musi podejmować w złożonych sytuacjach. Daje to możliwość konstrukcji automatycznych systemów wnioskowania przybliżonego. Znajduje też zastosowanie w systemach wspomaganie decyzji w takich dziedzinach jak technika, medycyna, ekonomia czy zarządzanie. Teoria zbiorów rozmytych wywiera również głęboki wpływ na nauki podstawowe, co świadczy o dużym stopniu jej uniwersalności.

3.3. Definicja zbioru rozmytego

Źródłem logiki rozmytej upatruje się w pracach wielkiego polskiego matematyka i logika Jana Łukasiewicza. W latach 20. ubiegłego stulecia zaproponował on taki rachunek zdań, w którym danemu zdaniu można przypisać nie tylko jedną z dwóch wartości (0 i 1, prawda i fałsz), ale dowolną liczbę, zawartą pomiędzy 0 a 1.

Przez zbiór rozmyty rozumiemy będziemy zbiór postaci

$$A = \{(x, \mu_A(x)): x \in X, \mu_A(x) \in [0, 1]\} \quad (1)$$

gdzie μ_A jest funkcją charakterystyczną tego zbioru.

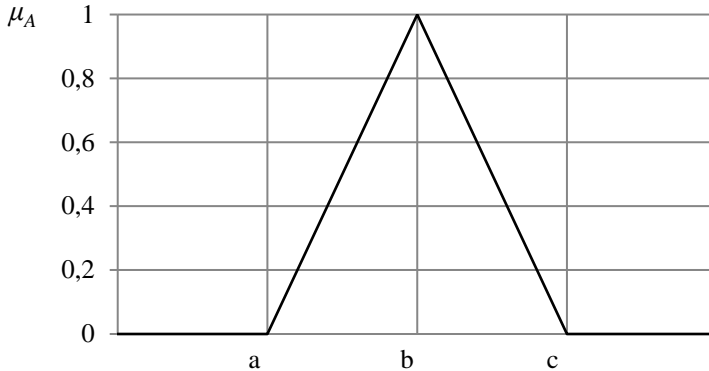
Zbiór X określa tzw. obszar rozważań, zwany też przestrzenią rozważań. Własność, która określa przynależność elementu do zbioru, może być ostra lub nieostra. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z klasycznym zbiorem,

w drugim ze zbiorem rozmytym. Tak więc każdy element z przestrzeni rozważań może do zbioru rozmytego należeć, nie należeć lub też należeć w pewnym stopniu. Stopień przynależności elementu do zbioru rozmytego określony jest przez funkcję charakterystyczną, zwaną też funkcją przynależności. Mogą one mieć różne kształty, zależnie od konkretnego przypadku. Do najczęściej stosowanych należą: funkcja trójkątna, trapezowa, typu Z, typu S oraz typu gaussowskiego. Przedstawiono je na Rysunkach 10–14. Wartości a , b , c , d na osi poziomej odpowiadają liczbom, których interpretacja fizyczna jest określana indywidualnie dla każdego zastosowania. Dlatego na Rysunkach 10–14 zrezygnowano z opisywania jednostek na tej osi.

Funkcja trójkątna przynależności do zbioru A o parametrach (a, b, c) :

$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b < x \leq c \\ 0, & c < x \end{cases} \quad (2)$$

Rysunek 10. Przykładowa trójkątna funkcja przynależności zbioru rozmytego A

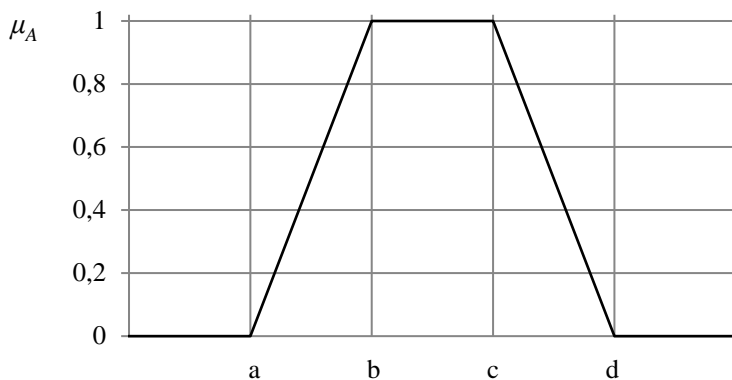


Źródło: opracowanie własne.

Funkcja trapezowa przynależności do zbioru A o parametrach (a, b, c, d) :

$$\mu_A(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x \leq d \\ 0, & d < x \end{cases} \quad (3)$$

Rysunek 11. Przykładowa trapezowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A

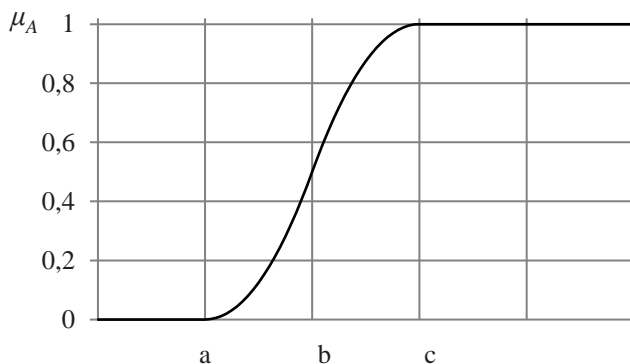


Źródło: opracowanie własne.

Funkcja przynależności do zbioru A o parametrach (a,b,c) typu Z:

$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \geq c \\ 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2, & c > x \geq b \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{c-a} \right)^2, & b > x \geq a \\ 1, & x < a \end{cases} ; \text{ gdzie } b = \frac{a+c}{2} \quad (4)$$

Rysunek 12. Przykładowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A typu Z

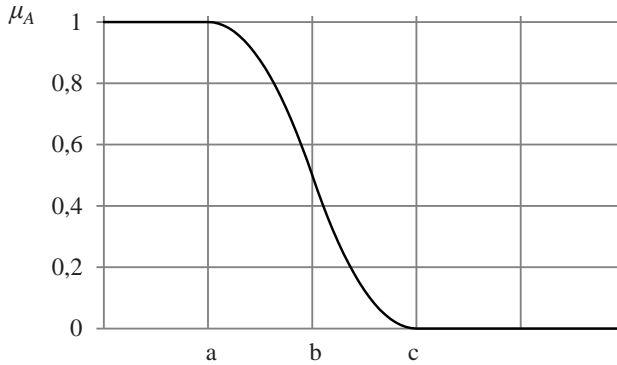


Źródło: opracowanie własne.

Funkcja przynależności do zbioru A o parametrach (a,b,c) typu S:

$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{c-a} \right)^2, & a < x \leq b \\ 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2, & b \leq x \leq a \\ 1, & x > a \end{cases}; \text{ gdzie } b = \frac{a+c}{2} \quad (5)$$

Rysunek 13. Przykładowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A typu S

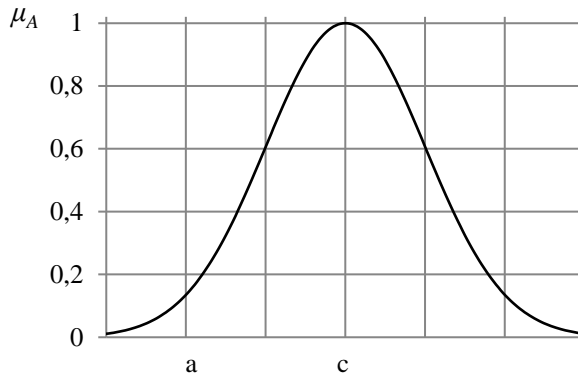


Źródło: opracowanie własne.

Funkcja przynależności do zbioru A o parametrach (a,b,c) typu gaussowskiego:

$$\mu_A(x; a, c) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{a}\right)^2\right) \quad (6)$$

Rysunek 14. Przykładowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A typu gaussowskiego



Źródło: opracowanie własne.

Przy określaniu kształtu funkcji przynależności zbioru rozmytego wykorzystywane są pewne dodatkowe pojęcia:

- nośnik zbioru rozmytego A – jest to zbiór tych elementów, dla których wartość funkcji przynależności jest większa od zera:

$$\text{supp}(A) = \{x \in X: \mu_A(x) > 0\} \quad (7)$$

- jądro zbioru rozmytego A – jest to zbiór elementów, dla których wartość funkcji przystosowania jest równa jeden:

$$\text{core}(A) = \{x \in X: \mu_A(x) = 1\} \quad (8)$$

- α -przekrój zbioru rozmytego A – jest to zbiór nierozmyty, dla którego zachodzi:

$$A_\alpha = \{x \in X: \mu_A(x) \geq \alpha\} \text{ dla } \alpha \in [0; 1] \quad (9)$$

- wysokość (ang. *height*) zbioru rozmytego A – czyli największa wartość funkcji przynależności w obrębie tego zbioru:

$$\text{height}(A) = \sup\{\mu_A(x) \mid x \in X\} \quad (10)$$

3.4. Operacje na zbiorach rozmytych

Zbiory rozmyte i funkcje przynależności dostarczają możliwości reprezentacji nieprecyzyjnych stwierdzeń. Jednak skuteczne posługiwanie się tym pojęciem matematycznym wymaga posiadania aparatu pozwalającego na przekształcenia i operacje (logiczne i arytmetyczne). Operatory rozmyte są uogólnieniem tradycyjnych operatorów boolowskich w teorii zbiorów takich jak iloczyn, suma, zawieranie itd. (Piegat, 2009).

Niech zbiory A, B będą zbiorami rozmytymi w przestrzeni X . Sumę takich zbiorów określa się jako zbiór rozmyty przestrzeni X taki, że jego funkcja przynależności spełnia

$$\forall x \in X \quad \mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (11)$$

W powyższej definicji zamiast funkcji \max można wziąć dowolną s -normę, tzn. dowolną funkcję S spełniającą warunki:

$$S(S(a, b), c) = S(a, S(b, c)) \quad (\text{łączność}) \quad (12)$$

$$S(a, b) = S(b, a) \quad (\text{przemienność}) \quad (13)$$

$$S(a, b) \leq S(a, c) \text{ dla } b \leq c \quad (\text{monotoniczność}) \quad (14)$$

$$S(a, 0) = a \quad (\text{warunek brzegowy}) \quad (15)$$

Iloczyn (przecięcie) zbiorów A i B jest podzbiorem rozmytym przestrzeni X takim, że

$$\forall x \in X \quad \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (16)$$

Zamiast funkcji \min można użyć dowolnej t -normy, tzn. takiej funkcji T , że:

$$T(T(a, b), c) = T(a, T(b, c)) \quad (\text{łączność}) \quad (17)$$

$$T(a, b) = T(b, a) \quad (\text{przemienność}) \quad (18)$$

$$T(a, b) \leq T(a, c) \quad \text{dla } b \leq c \quad (\text{monotoniczność}) \quad (19)$$

$$T(a, 1) = a \quad (\text{warunek brzegowy}) \quad (20)$$

Niech zbiór A będzie zbiorem rozmytym w przestrzeni X . Przez dopełnienie zbioru A rozumie się zbiór A^C , będący podzbiorem przestrzeni X takim, że

$$\forall x \in X \quad \mu_{A^C}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (21)$$

Iloczynem kartezjańskim zbiorów A_1, \dots, A_n nazywa się zbiór rozmyty A o funkcji przynależności

$$\forall x \in X \quad \mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(x) = \min(\mu_{A_1}(x), \dots, \mu_{A_n}(x)) \quad (22)$$

Wszystkie powyższe funkcje przekształcają wartości funkcji przynależności μ z przedziału $[0, 1]$ na wartość funkcji przynależności również w przedziale $[0, 1]$.

Jeśli zbiory A, B są podzbiorymi rozmytymi w przestrzeni X , wówczas warunek zawierania się zbioru A w zbiorze B jest następujący

$$\forall x \in X \quad \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad (23)$$

W praktyce najczęściej stosuje się definicje operatorów, jak podano wyżej (Rutkowska, Piliński, Rutkowski, 1997). Jednak w konkretnych przypadkach należy rozważyć i sprawdzić celowość wykorzystania innej s -normy czy t -normy. Niektóre z ich definicji podano w Tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Podstawowe s -normy

Nazwa operatora	wzór
maksimum (max)	$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$
suma algebraiczna	$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$
suma Hamachera	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$

suma Einsteina	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{1 + \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$
suma drastyczna	$\mu_{A \cup B}(x) = \begin{cases} \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) & \text{dla } \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = 0 \\ 1 & \text{poza tym} \end{cases}$
suma ograniczona	$\mu_{A \cup B}(x) = \min(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Podstawowe t -normy

Nazwa operatora	wzór
minimum (min)	$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$
iloczyn algebraiczny	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$
iloczyn Hamachera	$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$
iloczyn Einsteina	$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2\mu_A(x) \cdot \mu_B(x))}$
iloczyn drastyczny	$\mu_{A \cup B}(x) = \begin{cases} \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) & \text{dla } \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = 1 \\ 0 & \text{poza tym} \end{cases}$
iloczyn ograniczony	$\mu_{A \cap B}(x) = \max(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$

Źródło: opracowanie własne.

3.5. Zmienna lingwistyczna

W ujęciu potocznym zmienna lingwistyczna określa zmienną, której wartościami są słowa lub zdania w języku naturalnym lub sztucznym. Powyższe słowa lub zdania nazywa się wartościami lingwistycznymi zmiennej lingwistycznej. W ujęciu formalnym zmienną lingwistyczną można zdefiniować jako piątkę (Czogała & Pedrycz, 1980).

$$\langle L, T, X, G, M \rangle \tag{24}$$

gdzie:

L – nazwa zmiennej lingwistycznej,

T – zbiór syntaktycznie poprawnych wartości lingwistycznych zmiennej L ,

X – przestrzeń rozważań zmiennej lingwistycznej L ,

G – syntaktyka zmiennej lingwistycznej, wyrażona najczęściej poprzez gramatykę kombinatoryczną, generuje wartości lingwistyczne zmiennej L ,

M – semantyka zmiennej lingwistycznej, określona poprzez zbiór algorytmów pozwalających na przyporządkowanie każdej wartości zmiennej lingwistycznej pewnego zbioru rozmytego A zdefiniowanego na przestrzeni rozważań X .

W ujęciu ogólnym semantyka M wykorzystuje tzw. modyfikatory, czyli określenia typu: *nieco więcej, trochę mniej, około*, które zmieniają funkcję przynależności. Przykładowo, jeśli $t \in T$ jest wartością zmiennej lingwistycznej o funkcji przynależności μ_t , to modyfikatory mogą być określone następująco:

$$\textit{nieco więcej niż } t \stackrel{\text{def}}{=} \mu_t^{1,25}, \quad (25)$$

$$\textit{trochę mniej niż } t \stackrel{\text{def}}{=} \mu_t^{0,75}, \quad (26)$$

$$\textit{około } t \stackrel{\text{def}}{=} \mu_t^{0,5}. \quad (27)$$

Poniżej zostaną zdefiniowane nazwy zmiennych lingwistycznych L oraz ich dopuszczalne wartości T oraz przestrzeń rozważań X . Podane zostanie ogólne podejście do definiowania syntaktyki G na podstawie pracy (Czogała & Pedrycz, 1980).

Syntaktykę G zmiennej lingwistycznej określa się, podając gramatykę kombinatoryczną klasy „0”, na którą składają się: alfabet symboli pomocniczych (nieterminalnych) v_G , alfabet definiowanego języka (symbole terminalne) Σ_G , zbiór produkcji gramatyki P_G oraz aksjomat, czyli głowa gramatyki S_G . Wszystkie te elementy tworzą czwórkę

$$\langle v_G, \Sigma_G, P_G, S_G \rangle \quad (28)$$

gdzie:

$$v_G = \{\textit{bardzo małe, małe, średnie, duże, bardzo duże}\},$$

$$\Sigma_G = \{\textit{wyrażenie proste, modyfikator, wyrażenie złożone, wartość zmiennej}\},$$

$$P_G = \langle \textit{wartość zmiennej} \rangle ::= \langle \textit{wyrażenie proste} \rangle | \langle \textit{wyrażenie złożone} \rangle | \langle \textit{modyfikator} \rangle | \langle \textit{wyrażenie złożone} \rangle$$

$$\langle \textit{wyrażenie złożone} \rangle ::= \langle \textit{wyrażenie proste} \rangle | \langle \textit{modyfikator} \rangle | \langle \textit{wyrażenie proste} \rangle$$

$$\langle \textit{wyrażenie proste} \rangle ::= \textit{bardzo małe} | \textit{małe} | \textit{średnie} | \textit{duże} | \textit{bardzo duże}$$

$$\langle \textit{modyfikator} \rangle ::= \textit{dużo więcej} | \textit{około} | \textit{nieco więcej} | \textit{trochę mniej} | \textit{dużo mniej}$$

$$S_G = \langle \textit{wartość zmiennej} \rangle.$$

Semantyka M dla każdej ze zmiennych lingwistycznych jest określana na podstawie opinii ekspertów z zakresu bezpieczeństwa lotniskowego lub w wyniku pomiarów wielkości fizycznych, zależnych od elementów należących do zbioru

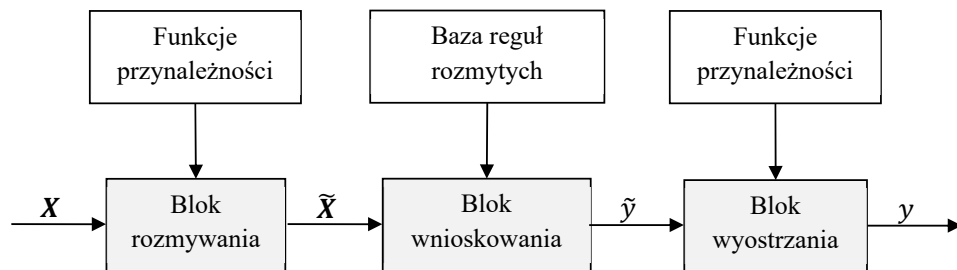
rozważań $x \in X$. Szczegóły podano w poszczególnych rozdziałach opisujących kolejne zmienne lingwistyczne. Dla każdej ze zmiennych przedstawiono również interpretację graficzną poszczególnych jej wartości.

3.6. Systemy wnioskowania rozmytego

Zależności między wielkościami wejściowymi a wyjściowymi realnie działającego systemu, a co za tym idzie także jego modelu, często należą do kategorii zagadnień, które nie poddają się obiektywnej ocenie ilościowej. Tak jest także w systemach rozpatrywanych w tej pracy. Istnieje natomiast możliwość opisywania występujących związków w sposób subiektywny, przybliżony i jakościowy. Te stwierdzenia stanowiły podstawę do wykorzystania systemów wnioskowania rozmytego do rozwiązania problemów postawionych w tej pracy (Siler & Buckley, 2005). Systemy wnioskowania rozmytego wykorzystują fakt, że często nie można pozyskać wiedzy dokładnej i precyzyjnej, ale można uzyskać wiedzę o problemie wyrażoną w sposób nieprecyzyjny. Istotne jest to, że nie tyle wiedza jest nieprecyzyjna, co nie istnieje sposób formalizacji zapisu tej wiedzy.

Schematycznie system wnioskowania rozmytego został przedstawiony na Rysunku 15.

Rysunek 15. Ogólna budowa systemu wnioskowania rozmytego



Źródło: opracowanie własne.

Na wejście bloku rozmywania podawane są wartości nierozmyte X pochodzące z obserwacji czy pomiarów. Niestety, nie jest dostępna wiedza pozwalająca na określenie konkretnie (ilościowo) wartości wyjściowych dla konkretnych wartości wejściowych. Możliwe jest natomiast (przy pomocy ekspertów) określenie tych relacji w sposób przybliżony i subiektywny. Eksperti potrafią (po odpowiedniej dekompozycji problemu) dokonać takich ocen z wykorzystaniem zmiennych lingwistycznych. W ten sposób, używając skończonej (dyskretnej) liczby rozmytych

reguł, można wnioskować o nieskończonej liczbie kombinacji rzeczywistych (ciągłych) wartości wejściowych i wyjściowych.

W bloku rozmywania, na podstawie określonych funkcji przynależności, następuje ich skojarzenie ze zmiennymi lingwistycznymi takimi jak *mały*, *średni* i *duży*. Rozmyte wartości \tilde{X} stanowią wejście dla bloku wnioskowania. Blok ten korzysta z bazy reguł rozmytych, które w tym przypadku są tworzone przez ekspertów – praktyków z zakresu systemów bezpieczeństwa lotniskowego. Rozmyte reguły wnioskowania są zdaniami warunkowymi postaci: JEŻELI *Liczba obszarów detekcji = bardzo duża* TO *Ocena bramki WTMD = wysoka*. Blok wnioskowania, na podstawie przesłanek rozmytych i wszystkich spełnionych reguł, określa wniosek, który ma postać rozmytej zmiennej lingwistycznej \tilde{y} . Wniosek ten jest wejściem do bloku wyostrzania, który na podstawie określonej funkcji przynależności dokonuje skojarzenia wielkości rozmytej z wyjściową wielkością nierozmytą y . Stanowi ona wynik działania systemu wnioskowania rozmytego. Jest to liczba z pewnego określonego przedziału.

Wyostrzanie (defuzyfikację) można zrealizować na wiele sposobów (Yager & Filev, 1995). Poniżej omówione zostały niektóre możliwe metody defuzyfikacji. Przyjęto oznaczenie, że blok wnioskowania zwrócił zbiór rozmyty B' .

Metoda „pierwsze z lewej maksimum” (LMM – LeftMost Maximum)

Metoda polega na tym, że zwracana wartość zdefuzyfikowana ma następującą własność:

$$\mu_{B'}(x_0) = \max_{x \in X}(\mu_{B'}(x)) \text{ oraz } \forall x < x_0 (\mu_{B'}(x) < \mu_{B'}(x_0)) \quad (29)$$

Metoda „pierwsze z prawej maksimum” (RMM – Right Most Maximum)

Zgodnie z nazwą jako wynik otrzymuje się wartość taką, że

$$\mu_{B'}(x_0) = \max_{x \in X}(\mu_{B'}(x)) \text{ oraz } \forall x < x_0 (\mu_{B'}(x) > \mu_{B'}(x_0)) \quad (30)$$

Metoda „środek ciężkości” (CoG – Center of Gravity)

Wartość x_0 wyliczana jest jako środek ciężkości funkcji przynależności wynikowego zbioru rozmytego. W przypadku ciągłym i dyskretnym korzysta się odpowiednio ze wzorów:

$$x_0 = \frac{\int x \mu_{B'}(x) dx}{\int \mu_{B'}(x) dx} \quad (31)$$

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \mu_{B'}(x_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_{B'}(x_i)} \quad (32)$$

Metoda „bisekcji” (bisection)

Metoda bisekcji (inaczej połowienia przedziału lub równych podziałów) polega na znalezieniu takiego punktu x_0 , który dzieli obszar wyznaczony przez wykres funkcji przynależności na dwie części o takiej samej powierzchni.

$$\int_{x_{min}}^{x_0} \mu_{B'}(x) dx = \int_{x_0}^{x_{max}} \mu_{B'}(x) dx \quad (33)$$

W zależności od postaci wyjścia z bloku wnioskowania rozmytego wyróżnia się dwa podstawowe typy modeli rozmytych: model Mamdaniego oraz model Takagi-Sugeno.

Modele Mamdaniego stosują najbardziej naturalne z punktu widzenia logiki rozmytej podejście, ponieważ opierają się na bazie reguł i stosowaniu operatorów lingwistycznych. W przypadku modelu Mamdaniego funkcję przynależności rozmytej implikacji $A \Rightarrow B$, która jest równoważna pewnej relacji rozmytej $R \subset X \times Y$, wyznacza się następująco

$$\mu_{A \Rightarrow B}(x, y) = T(\mu_{A(x)}, \mu_{B(y)}) \quad (34)$$

gdzie T jest dowolną t -normą.

Wadą modeli Mamdaniego jest to, że nie zawierają jawnej postaci wiedzy obiektywnej, mimo iż wiedza ta jest czasami dostępna. Dlatego w modelu Takagi-Sugeno zaproponowano stosowanie bazy reguł specjalnego formatu, w której następniki są typu funkcyjnego. Najczęściej występują tu funkcje liniowe (Kuniszyk-Józkowiak, 2012).

W niniejszej pracy stosuje się strukturę hierarchiczną, w której wyjście z jednego systemu wnioskowania rozmytego może stanowić wejście do kolejnego systemu. Poszczególne elementy niezbędne do stworzenia tej struktury (funkcje przynależności, reguły wnioskowania) zostały opisane w dalszej części tej pracy.

Istotną kwestią użyteczności systemów wnioskowania rozmytego dla rozwiązania zadania badawczego postawionego w tej pracy jest fakt, że na wejściu do każdej z reguł rozmytych są zbiory rozmyte, które mogą się na siebie nakładać. A zatem pewna rzeczywista wartość pomiarowa $x \in X$ nie jest przypisana jednoznacznie tylko do jednej zmiennej lingwistycznej wejściowej, ale może w różnym stopniu należeć do kilku. W takim przypadku dla jednego wejścia aktywowanych jest kilka reguł wnioskowania. Powstaje wówczas kilka konkluzji wnioskowania, które należy zintegrować. Dla integracji reguł wnioskowania w niniejszej pracy wykorzystano tzw. złożeniową regułę wnioskowania, wprowadzoną przez Zadeha (1973), która wykorzystuje uogólnioną rozmytą regułę wnioskowania „modus ponens”. Określa ona następujący schemat wnioskowania (Kacprzyk, 1986)

$$I: P \Rightarrow Q$$

$$P: P'$$

$$W: P' \circ (P \Rightarrow Q) \quad (35)$$

gdzie I oznacza implikację, P – przesłankę, W – wniosek, zaś „ \circ ” jest złożeniem typu max-min, którego wynikiem dla relacji rozmytych $A \subset X \times Y$ i $B \subset Y \times Z$ jest relacja rozmyta $A \circ B \subset X \times Z$ o funkcji przynależności:

$$\mu_{A \circ B}(x, z) = \bigvee_{y \in Y} (\mu_A(x, y) \wedge \mu_B(y, z)), \forall x \in X, \forall z \in Z \quad (36)$$

W rozwiązaniach praktycznych zazwyczaj stosuje się implikacje w postaci rozmytych zdań warunkowych (reguł), tzn.

$$\text{IF } P \text{ THEN } Q \text{ ELSE } S \quad (37)$$

Powyższe zdanie warunkowe jest równoważne pewnej relacji rozmytej $R \subset X \times Y$, przy czym spośród licznych spotykanych w literaturze definicji tej relacji rozmytej stosowana będzie reguła typu max-min

$$R = (P \times Q) + (\sim P \times S) \quad (38)$$

co można wyrazić w postaci następującej funkcji przynależności

$$\mu_R(x, y) = (\mu_P(x) \wedge \mu_Q(y)) \vee ((1 - \mu_P(x)) \wedge \mu_S(y)), \forall x \in X, \forall y \in Y \quad (39)$$

Zapisując schemat wnioskowania (35) w postaci reguł systemu wnioskowania rozmytego, otrzymujemy następującą jego postać

$$I: \text{IF } P \text{ THEN } Q$$

$$P: x \text{ IS } P'$$

$$W: y \text{ IS } Q' \quad (40)$$

gdzie $P, P' \subset X, Q, Q' \subset Y$

Wynik wnioskowania Q' jest określony zgodnie ze złożeniową regułą wnioskowania jako

$$\mu_{Q'}(y) = \bigvee_{x \in X} (\mu_{P'}(x) \wedge \mu_R(x, y)), \forall y \in Y \quad (41)$$

gdzie $R \subset X \times Y$ jest relacją rozmytą określoną zgodnie ze wzorami (38–39). Wówczas funkcja przynależności otrzymywanego wniosku przyjmuje ostatecznie postać

$$\mu_{Q'}(y) = \bigvee_{x \in X} \left(\mu_{P'}(x) \wedge \left(\mu_P(x) \wedge \mu_Q(y) \right) \vee (1 - \mu_P(x)) \right), \forall y \in Y \quad (42)$$

W wielu przypadkach występuje sytuacja, gdy przesłanka jest wyrażeniem logicznym, na które składa się suma lub iloczyn kilku przesłanek składowych. W takich przypadkach konieczne jest stosowanie bardziej złożonego schematu wnioskowania. Przykład użycia takiego schematu został przedstawiony przy okazji analizy skuteczności systemu TIP.

3.7. Ogólna koncepcja wykorzystania systemów wnioskowania rozmytego do analizy skuteczności kontroli bezpieczeństwa

W praktyce działania służb zarządzających organizacją procesu kontroli bezpieczeństwa w portach lotniczych często można spotkać się z sytuacją, kiedy decyzje podejmowane są w warunkach niepewności, spowodowanej głównie brakiem możliwości precyzyjnego ilościowego opisu zachodzących zjawisk i procesów. W sytuacjach takich bazuje się najczęściej na prostych i oczywistych zależnościach jakościowych, na przykład: duża liczba bagaży kontrolowanych manualnie daje wysoką skuteczność wykrywania przedmiotów zabronionych przy jednoczesnej niskiej przepustowości terminala. Trudno jednak określić, co dokładnie oznacza „duża liczba bagaży” czy „wysoka skuteczność kontroli”. Często nie można także stwierdzić, czy uzyskiwane rezultaty są wystarczające w obliczu spadku komfortu obsługi pasażerów bądź spadku przepustowości, a nawet strat materialnych pasażerów czy przewoźników lotniczych, którzy ze względu na przedłużającą się kontrolę bezpieczeństwa muszą opóźnić odloty. W wielu przypadkach problem z podjęciem właściwych decyzji pogłębia się z powodu dużej liczby słabo określonych zmiennych wejściowych, które mogą oddziaływać na wynik. Taka sytuacja ma również miejsce w rozpatrywanym problemie oceny skuteczności systemu kontroli bezpieczeństwa.

Wymienione powyżej czynniki skłaniają do poszukiwania rozwiązań w obszarze wiedzy zajmującym się podejmowaniem decyzji w warunkach niepewności. Najczęściej w takiej sytuacji wykorzystuje się metody probabilistyczne. Wymagają one jednak pomiarów dających wiedzę o charakterze statystycznym. Takie pomiary w warunkach realnych nie mogą być wykonane. Alternatywnym rozwiązaniem jest skorzystanie w takiej sytuacji z doświadczenia ekspertów, gromadząc odpowiednią bazę wiedzy. Ostateczne decyzje kształtowane są zgodnie z grupową wiedzą zespołu ludzi, będących specjalistami w obszarze analizy (Skorupski, 2014). Proces pozyskiwania bazy wiedzy jest żmudny i długotrwały, dlatego należy uznać za racjonalne próby tworzenia komputerowych systemów eksperckich, które na podstawie stworzonej bazy wiedzy pozwolą na automatyczne rozwiązywanie

adekwatnych problemów decyzyjnych w innych warunkach zewnętrznych, przy nieco zmienionych ograniczeniach itp. Systemy takie mogą jednocześnie dokonać automatycznej weryfikacji rozmytej bazy wiedzy (Skorupski, 2015). W niniejszej pracy podjęto próbę stworzenia takiego systemu z wykorzystaniem metod wnioskowania rozmytego.

W pracy zaproponowano ocenę systemu zabezpieczeń lotniska opartą na hierarchicznym modelu wnioskowania rozmytego. Z jednej strony hierarchiczność wynika ze struktury relacji między poszczególnymi elementami systemu: wyjścia pewnych modeli lokalnych stanowią wejścia do modeli wyższego rzędu. Z drugiej strony podejście rozmyte wynika z faktu, że w badanym systemie niezwykle silnie zaznacza się wpływ czynnika ludzkiego oraz innych elementów, które nie poddają się jednoznaczemu i precyzyjnemu opisowi. Nie sposób określić zależności funkcyjnych między poszczególnymi czynnikami wpływającymi na skuteczność systemu ochrony a oceną poziomu tej ochrony. W takich przypadkach konieczne jest odwołanie się do ocen ekspertów. Skoro zaś występują oceny eksperckie, to powszechnie wiadomo, że bardzo często są one formułowane w sposób opisowy i nieprecyzyjny. Należy zatem rozpatrywać problem decyzyjny w kontekście niepewności przy podejmowaniu decyzji, co wymusza stosowanie adekwatnych metod.

4. Symulacyjna analiza przepustowości i skuteczności punktu kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym wykorzystującego WTMD i body skaner

Rozwój systemów kontroli bezpieczeństwa na lotnisku wymaga stosowania coraz bardziej zaawansowanych technicznie i skuteczniejszych urządzeń do wykrywania przedmiotów i substancji zabronionych lub niebezpiecznych. Może to jednak prowadzić do obniżenia przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa (PKB). W pracy został poruszony ważny z operacyjnego punktu widzenia problem dylematu pomiędzy skutecznością kontroli bezpieczeństwa a przepustowością punktu kontroli bezpieczeństwa, istotną dla realnych możliwości operacyjnych lotniska. Przeprowadzono porównanie tradycyjnych bramek WTMD oraz nowszej technologii body skanerów w zakresie tych dwóch kryteriów. W tym celu opracowano odpowiednie modele symulacyjne. Jeden z nich, służący do badania przepustowości, stworzono jako kolorowaną, czasową sieć Petriego. Drugi, służący do oceny skuteczności, został zbudowany jako system wnioskowania rozmytego oparty na logice rozmytej. Badania, spośród których przedstawiono cztery scenariusze, pokazały, że nie istnieje jednoznaczna odpowiedź, którą technologię należy wybrać. Dla lotniska o charakterystyce podobnej do analizowanego Katowice Airport (KTW), wykorzystanie bramek WTMD wydaje się korzystniejsze w warunkach nominalnych oraz po zwiększeniu obsady PKB w taki sposób, aby pracowały na nim osoby obu płci jednocześnie. W przypadku zwiększonego zagrożenia terrorystycznego oraz zagrożenia epidemicznego korzystniejsze jest wykorzystywanie stanowisk wyposażonych w body skaner. Natomiast w odniesieniu do charakteru ubioru pasażerów, związanego z porami roku, najkorzystniejsze z operacyjnego punktu widzenia jest kierowanie większego strumienia pasażerów latem – do stanowisk wyposażonych w WTMD zaś zimą – do stanowisk wyposażonych w body skaner.

Znaczenie przepustowości i skuteczności kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym

Kontrola bezpieczeństwa na lotnisku jest jednym z podstawowych procesów obsługi pasażerów. Sytuacja geopolityczna na świecie w połączeniu z rozwojem technologicznym powoduje, że konieczne jest stosowanie coraz bardziej zaawansowanych technicznie urządzeń do wykrywania przedmiotów i substancji zabronionych lub niebezpiecznych. Zadania realizowane z ich wykorzystaniem muszą być w pełni zgodne z regulacjami prawnymi (WE 2015/1998) i zapewniać wymaganą skuteczność kontroli. Z drugiej strony nie powinny stanowić ograniczenia przepustowości całego lotniska. Jednak wdrażanie nowych, bardziej skutecznych rozwiązań technicznych i procedur w zakresie kontroli bezpieczeństwa osób, czasem prowadzi do obniżenia przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa (PKB).

Biorąc pod uwagę możliwą sprzeczność obu celów, należy poszukiwać rozsądnego kompromisu. Aby go osiągnąć, ważna jest umiejętność ilościowego oszacowania zarówno praktycznej przepustowości, jak i skuteczności urządzenia wykorzystywanego w punkcie kontroli bezpieczeństwa. Dokonanie takiej oceny jest zasadniczym celem tej pracy. Dodatkowo przedstawiona zostanie także metoda pozwalająca na wykonanie eksperymentów odnoszących się do planowanych zmian w organizacji punktu kontroli bezpieczeństwa lub zmian w otoczeniu PKB, takich jak podwyższone zagrożenie terrorystyczne czy zagrożenie epidemiczne.

Proces przygotowania pasażerów do kontroli jest podobny, niezależnie od typu wykorzystywanego urządzenia, zatem w analizach uwzględniono przepustowość i skuteczność wyłącznie urządzeń do prześwietlania, a dokładnie bramek do wykrywania metali (WTMD) oraz body skanerów (BS).

Zagrożenia bezpieczeństwa w transporcie lotniczym w procesie obsługi pasażerów

Transport lotniczy od wielu lat jest celem różnego rodzaju działań o charakterze terrorystycznym. Ma to wiele przyczyn, wśród których można wymienić dużą liczbę osób, które mogą stać się ofiarami ataku, a także międzynarodowy wydzźwięk potencjalnych incydentów. Czynniki te są bardzo ważne dla grup terrorystycznych planujących ataki. Decydują bowiem o dużym rozgłosie medialnym, co dla tych grup bywa bardzo ważne.

Obowiązujące do 2001 roku zasady dotyczące możliwości przewożenia różnego rodzaju przedmiotów na pokładzie statku powietrznego były bardzo liberalne.

Doprowadziło to do eskalacji tak zwanych aktów bezprawnej ingerencji. Brak odpowiednich regulacji w zakresie jakości szkolenia personelu czy podstawowych norm dotyczących zasad wykonywania kontroli bezpieczeństwa skutkowały możliwością stosunkowo łatwego wniesienia na pokład samolotu przedmiotu lub substancji, za pomocą których można było dokonać czynu zabronionego, prowadzącego nawet do zniszczenia samolotu.

Ataki z 11 września 2001 doprowadziły do rewizji podejścia do ochrony lotnictwa cywilnego, wskutek czego powstają coraz bardziej rygorystyczne regulacje prawne ograniczające możliwość przewozu określonych kategorii przedmiotów. Wraz z rozwojem technologicznym zmieniały się na przestrzeni lat również rozwiązania sprzętowe, wspomagające operatorów kontroli bezpieczeństwa (OKB) w wykrywaniu prób dostarczenia tego rodzaju przedmiotów i substancji na pokład statku powietrznego zarówno w bagażu, jak i bezpośrednio przez pasażerów.

Skonstruowano i wdrożono do powszechnego stosowania między innymi:

- wielogeneratorowe urządzenia rentgenowskie, dające możliwość weryfikacji zawartości prześwietlanego obrazu pod różnymi kątami,
- urządzenia wykorzystujące technologię tomografii komputerowej, pozwalające na trójwymiarową analizę zawartości bagażu rejestrowanego,
- urządzenia do wykrywania śladowych ilości materiałów wybuchowych,
- urządzenia do wykrywania ukrytych na ciele osoby przedmiotów, zarówno metalowych, jak i wykonanych z innych materiałów.

Zauważalna jest powszechna tendencja zastępowania bramek WTMD przez body skanery. Zauważony został również praktyczny problem decyzyjny – czy i w jakim zakresie zastępować bramki WTMD body skanerami, biorąc pod uwagę fakt, że są to urządzenia bardzo kosztowne i dla lotniska małego lub średniego może to stanowić poważną barierę. Podejmując tego rodzaju decyzję, chcemy wiedzieć, na ile body skaner jest skuteczniejszy od WTMD, ale także czy przepustowość tego urządzenia jest wystarczająca, aby sprawnie obsługiwać występujący ruch pasażerów. Porównywanie wyłącznie danych technicznych podawanych przez producentów nie jest wystarczające. Występują bowiem liczne uwarunkowania lokalne, związane z charakterem ruchu lotniczego obsługiwanego przez lotnisko, ogólnym technologicznym obyciem społeczeństwa, obawami co do zagrożenia dla zdrowia ze strony stosowanych urządzeń czy problemami natury obyczajowej, wynikającymi z możliwego naruszenia sfery intymności pasażerów. Wszystkie te czynniki mają wpływ zarówno na praktyczną przepustowość, jak i skuteczność kontroli oferowaną przez urządzenia.

Kontrola bezpieczeństwa pasażerów jest fragmentem procesu obsługi pasażerów na lotnisku odlotu, rzadziej w trakcie transferu na lotnisku przesiadkowym.

Obsługa pasażerów odlatujących rozpoczyna się z chwilą wejścia pasażera do terminala lotniska, a kończy wejściem na pokład samolotu. Składa się z kilku etapów, z których najważniejsze to:

- Check-in. Następuje tutaj kontrola biletu lotniczego, wydanie karty pokładowej oraz ewentualne nadanie bagażu rejestrowanego. Dodatkowo, jeśli pasażer ma zbyt ciężki bagaż, musi udać się do kasy i uiścić odpowiednią opłatę. W przypadku posiadania bagażu ponadwymiarowego konieczne jest udanie się do odpowiedniego stanowiska, gdzie może on być nadany. Technicznie procedura check-in może być realizowana przez pracownika lub też w sposób automatyczny.
- Kontrola dostępu do strefy zastrzeżonej. Dokonywana jest kontrola karty pokładowej uprawniającej do przejścia do strefy zastrzeżonej.
- Kontrola bezpieczeństwa. Ten etap składa się z kontroli pasażerów oraz ich bagażu podręcznego.
- Kontrola paszportowa. Polega ona na kontroli dokumentów wymaganych przy przekraczaniu granicy państwowej.
- Gate. W tym miejscu pasażerowie oczekują na boarding, a po jego rozpoczęciu następuje sprawdzenie karty pokładowej, przy czym pasażerowie są obsługiwani zgodnie z kolejnością wynikającą ze stosowanej strategii boardingu.
- Transport do samolotu. Obsługa polega na dostarczeniu pasażerów na pokład samolotu, przy czym najczęściej stosuje się pomosty pasażerskie, transport autobusem lub dojście pieszo.

Przegląd literatury wskazuje, że nie istnieje obiektywne narzędzie służące do projektowania systemu kontroli bezpieczeństwa osób z uwzględnieniem zarówno przepustowości portu lotniczego, jak i skuteczności w zakresie wykrywania przedmiotów zabronionych do przewozu. Brakuje także porównania WTMD i body skanera w zakresie obu tych kryteriów.

Istnieje zatem potrzeba wsparcia menedżera bezpieczeństwa w porcie lotniczym w narzędzia, które pozwolą racjonalnie (ilościowo) oszacować wpływ stosowania określonych rozwiązań na operacje prowadzone w porcie lotniczym. Jak już wspomniano, jest to problem praktyczny i powszechny, zwłaszcza w odniesieniu do średnich i małych portów lotniczych, gdzie zmiana sprzętu wykorzystywanego do kontroli może napotykać zarówno barierę finansową, jak i organizacyjną, na przykład związaną z brakiem miejsca na tworzenie nowych stanowisk kontroli bezpieczeństwa.

Producenci urządzeń WTMD i body skanerów deklarują przepustowość urządzeń w danym środowisku pracy. Przykładowo, dla testowanego urządzenia WTMD deklarowana przepustowość wynosiła 360 pasażerów na godzinę.

Natomiast dla testowanego body skanera deklarowana przepustowość wynosiła 1200 pasażerów na godzinę. Jednak doświadczenie z praktyki operacyjnej wskazuje, że do takiej przepustowości nie sposób się nawet zbliżyć w warunkach rzeczywistych. Aby ocenić przydatność badanych urządzeń w rzeczywistych warunkach pracy i przy istniejącej infrastrukturze, opracowano model punktu kontroli bezpieczeństwa, który skalibrowano na podstawie pomiarów przeprowadzonych na lotnisku Katowice (KTW). Model ten wykorzystano do oszacowania praktycznej przepustowości urządzeń w warunkach regionalnego portu lotniczego obsługującego rocznie około 5 milionów pasażerów. Walidację modelu przeprowadzono poprzez analizę statystyczną uzyskanych danych pomiarowych, a następnie analityczne wyznaczenie przepustowości stanowiska wyposażonego w badane urządzenie.

Drugim ważnym aspektem wpływającym na decyzję o ewentualnym zastosowaniu body skanera jest skuteczność prowadzonej kontroli. Patrząc zgrubnie i jakościowo, wydaje się, że skuteczność tego urządzenia jest wyższa z uwagi na możliwość wykrywania zarówno przedmiotów metalowych, jak i niemetaliowych. Jednak biorąc pod uwagę praktyczny problem decyzyjny, istotna jest kwestia, jak duży jest wzrost skuteczności, porównując to z kosztami instalacji i ewentualnymi utrudnieniami związanymi z utratą przepustowości PKB.

Dysponując wiedzą o skuteczności i praktycznej przepustowości urządzeń różnych typów, możliwe jest bardziej świadome planowanie wyposażenia PKB. Warto przy tym zauważyć, że wiąże się to z koniecznością określenia także liczby punktów kontroli bezpieczeństwa niezbędnych do obsłużenia ruchu pasażerskiego na lotnisku, a tym samym wielkości obsady personalnej punktów kontroli bezpieczeństwa. Więcej PKB to konieczność zatrudnienia dodatkowych OKB. Jako że muszą to być osoby o specjalnych predyspozycjach i kwalifikacjach, pozyskanie nowych pracowników może być trudne i długotrwałe. Wszystkie te aspekty muszą być brane pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o wyposażeniu PKB w taki czy inny sprzęt do kontroli pasażerów.

Uwzględniając wnioski wynikające z przeglądu literatury, własnych doświadczeń i wcześniejszych badań przyjęto, że badanie praktycznej przepustowości PKB zostanie przeprowadzone z wykorzystaniem mikroskalowego modelu procesu kontroli, zbudowanego w oparciu o kolorowane, czasowe, stochastyczne sieci Petriego. Z kolei do oceny skuteczności kontroli wykorzystane zostaną systemy wnioskowania rozmytego.

Tym samym niniejsza praca jest kontynuacją pracy (Skorupski et al., 2018), w której wykorzystany został model w postaci kolorowanej sieci Petriego do oceny przepustowości systemu kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym. Rozszerzenie badań polega na zastosowaniu tego podejścia do oceny

bramki WTMD i body skanera, z uwzględnieniem zmienności sekwencji wykonywanych czynności kontrolnych, a zatem dynamicznej zmienności definicji realizowanego procesu kontroli.

Jednocześnie obszar ten stanowi kontynuację pracy (Skorupski & Uchroński, 2017), w której dokonana została ocena skuteczności bramek WTMD. W prezentowanym zakresie, także korzystając z systemu wnioskowania rozmytego, dokonana zostanie ocena skuteczności body skanera, a następnie zostaną porównane oba urządzenia. Istotnym rozszerzeniem zastosowanego podejścia jest uwzględnienie czynników wpływających na skuteczność kontroli w taki sposób, aby możliwe było porównanie urządzeń, mimo różniących je technologii pracy. Tu również ważnym rozszerzeniem jest uwzględnienie stosowanych procedur dodatkowych, i to zarówno w sensie jakościowym (na przykład kontrola obecności śladowych ilości materiałów wybuchowych), jak i ilościowym (na przykład częstości kontroli manualnych różnego typu).

W odniesieniu do prac innych autorów prezentowane podejście proponuje ilościowe określenie skuteczności, które pozwala na łatwe porównywanie badanych rozwiązań. Jest ono ważne przy podejmowaniu decyzji modernizacyjnych, zwłaszcza w aspekcie operacji realizowanych w porcie lotniczym. Z drugiej strony proponowana metodyka modelowania oparta na mikroskalowym modelu w postaci kolorowanej sieci Petriego pozwala obserwować i modyfikować badany system w trakcie pracy, co ułatwia badanie krótko- i długofalowych skutków zmian operacyjnych.

Proponowany sposób podejścia zarówno do określania praktycznej przepustowości urządzenia do kontroli, jak i jego skuteczności, pozwoli na precyzyjne określenie skutków podejmowanych decyzji, tym samym będzie ich istotnym wsparciem. Warto zauważyć, że metodę można zastosować zarówno do aktualnych warunków funkcjonowania portu lotniczego, jak i dla warunków przewidywanych w przyszłości, ale także w warunkach zakłóceń będących następstwem sytuacji wyjątkowych. Przykładowe analizy dla takich scenariuszy zostały przeprowadzone w ramach badań i przedstawione w dalszej części pracy. Dotyczyły one zależności przepustowości i skuteczności od zdarzeń zewnętrznych, takich jak zwiększone zagrożenie atakiem terrorystycznym, zagrożenie epidemiczne czy zmiany pór roku, a także od działań organizacyjnych, takich jak zmiana obsady personalnej PKB.

Proces kontroli bezpieczeństwa pasażerów składa się z szeregu czynności. Pierwszym etapem jest weryfikacja pasażera na podstawie posiadanej przez niego karty pokładowej. Drugim etapem jest przygotowanie do kontroli, w ramach którego pasażer wyklada wszystkie posiadane przez niego przedmioty metalowe i elektroniczne do dedykowanego pojemnika. Niezależnie umieszcza na podajniku

taśmowym pozostały bagaż podręczny. Następnie wykonywana jest kontrola właściwa, która jest przedmiotem badań.

Osoby dokonujące kontroli wspomagane są przez dwa podstawowe urządzenia. Pierwszym z nich jest przegładarka RTG, która służy do prześwietlania bagażu, a drugim urządzenie do kontroli osób, która z kolei ma za zadanie weryfikację, czy na ciele kontrolowanej osoby nie znajdują się ukryte przedmioty mogące stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczych. Zazwyczaj kontrola bagażu i pasażera wykonywane są jednocześnie.

Oprócz tych podstawowych narzędzi w PKB wykorzystuje się także urządzenia do kontroli płynów oraz urządzenia do kontroli śladowych ilości materiałów wybuchowych. Wszystkie te urządzenia mogą być różnie skonfigurowane. Najczęściej na jedno urządzenie rentgenowskie przypada jedna linia kontroli osób, a zatem także jedna bramka do kontroli osób. Zdarza się jednak, że na jedno urządzenie rentgenowskie przypadają dwie linie kontroli osób lub odwrotnie. Stosowanie tych układów przestrzennych jest uzależnione od wielkości ruchu, dostępności miejsca oraz możliwości finansowych.

Jednym z najpopularniejszych rozwiązań kontroli bezpieczeństwa pasażerów na lotniskach jest stosowanie bramowego wykrywacza metali WTMD, działającego na zasadzie indukcji elektromagnetycznej. Regulacje prawne (UE 2015/1998) w sposób szczegółowy określają wymagane parametry tych urządzeń. Urządzenie wykrywa metalowe przedmioty ukryte na ciele kontrolowanego. Większość przedmiotów, które mogą być uznane za broń i tym samym nie są dopuszczone do swobodnego przewozu transportem lotniczym, wykonana jest z różnego rodzaju metali. Tym samym ich eliminacja ma duże znaczenie w kontekście bezpieczeństwa przewozu. Biorąc pod uwagę możliwość wykonania niebezpiecznych przedmiotów zabronionych do przewozu z materiałów nie-metalowych, kontrola za pomocą WTMD jest wspomagana kontrolą manualną, wykonywaną z częstotliwością i w sposób określony przepisami (UE 2015/8005).

Technologia kontroli osób z wykorzystaniem tego narzędzia jest zależna od szczegółowych rozwiązań technicznych poszczególnych producentów bramek do wykrywania metali. Należą do nich na przykład liczba obszarów detekcji czy możliwość indywidualnego programowania stref detekcji w wykrywaczu. Oszacowanie realnej przepustowości urządzenia oraz skuteczności tak przeprowadzonej kontroli jest przedmiotem tej pracy.

Alternatywą dla kontroli bezpieczeństwa za pomocą WTMD jest kontrola z wykorzystaniem body skanera. Zasada działania tego urządzenia jest odmienna od zasady działania bramki do wykrywania metali. Body skaner wykorzystuje promieniowanie niejonizujące, co pozwala na wykrywanie wszystkich, nie tylko metalowych, przedmiotów przenoszonych na ciele pasażera. Z tego też

powodu sposób wykonywania kontroli jest również odmienny. O ile w przypadku WTMD należy po prostu przejść przez bramkę, o tyle w przypadku body skanera istotne jest specyficzne ustawienie pasażera wewnątrz urządzenia. Efektem jego działania jest precyzyjne wskazanie miejsc, w których można się spodziewać ukrytego potencjalnie niebezpiecznego narzędzia. W związku z tym kontrola manualna ma nieco inną charakterystykę niż w przypadku WTMD. Operator kontroli bezpieczeństwa sprawdza manualnie miejsca wskazane przez BS (kontrola kierunkowa). Jeśli liczba wskazanych miejsc jest duża, wówczas operator dokonuje kontroli manualnej całej powierzchni ciała pasażera (kontrola pełna).

Poszczególne urządzenia i procesy występujące w PKB są ze sobą ściśle powiązane i determinują efektywność operacji obsługi przedstartowej. Przykładowo, w typowej sytuacji, kiedy wykonywana jest kontrola manualna pasażera, cała linia kontroli jest blokowana – zarówno w odniesieniu do kolejnych pasażerów, jak i częściowo kolejnych bagaży. Taka sytuacja występuje, kiedy do wykonywania kontroli manualnych dedykowana jest jedna osoba. Jeśli jest ich więcej, blokada następuje dopiero wówczas, gdy wszyscy OKB są zajęci wykonywaniem kontroli.

Podobna zależność występuje w przypadku wykrycia podejrzanego przedmiotu w bagażu pasażerskim. Wtedy dokonuje się jego powtórnego prześwietlenia lub sprawdza manualnie. Wówczas także następuje blokada linii kontroli zarówno w odniesieniu do bagażu, jak i pasażerów.

4.1. Model przepływu pasażerów przez punkt kontroli bezpieczeństwa

4.1.1. Przepływ pasażerów – bramka do wykrywania metali

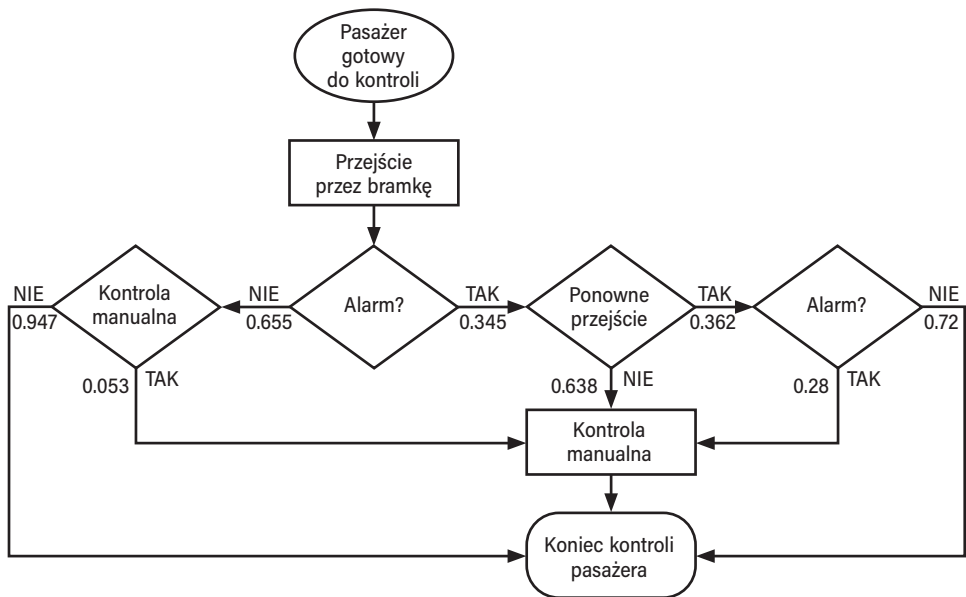
Dla dużego odsetka pasażerów kontrola na stanowisku wyposażonym w bramkę WTMD jest bardzo prosta i krótka – pasażer przechodzi przez bramkę, która nie ulega wzbudzeniu i nie generuje alarmu, nie jest stosowana kontrola manualna, po czym pasażer opuszcza stanowisko. Dla części pasażerów, którzy nie wzbudzili alarmu, przeprowadzana jest jednak wrywkowa, prewencyjna kontrola manualna.

Proces kontroli jest nieco bardziej złożony w przypadku, gdy bramka uległa wzbudzeniu i wygenerowała alarm. Operator może w takim przypadku od razu dokonać kontroli manualnej lub poprosić, aby pasażer ponownie przeszedł przez bramkę. Wielu pasażerów w tym przypadku analizuje, czy posiada jeszcze jakieś przedmioty metalowe i po ewentualnym znalezieniu wyklada je na taśmę i ponownie przechodzi przez bramkę. W związku z tym przy powtórnym przejściu przez bramkę w części przypadków alarm się nie uruchamia. Operator

kontroli bezpieczeństwa może w takiej sytuacji zakończyć proces kontroli lub mimo wszystko dokonać kontroli manualnej. W przypadku uaktywnienia się alarmu także przy powtórным przejściu przez bramkę WTMD kontrola manualna jest obligatoryjna.

Schemat standardowego przepływu pasażerów na stanowisku kontroli wyposażonym w WTMD przedstawiono na Rysunku 16.

Rysunek 16. Standardowy przepływ pasażerów na stanowisku wyposażonym w WTMD



Źródło: opracowanie własne.

Jak już wspomniano, deklarowana przez producenta przepustowość urządzenia jest znacząco wyższa od przepustowości możliwej do uzyskania w rzeczywistości. Jest to zależne od konfiguracji stanowiska, dostępnej przestrzeni, zachowania pasażerów. Dla określenia przepustowości stanowiska kontroli w warunkach rzeczywistych w lipcu i sierpniu 2019 dokonano pomiarów w terminalu pasażerskim lotniska KTW. Fragment danych pomiarowych, obejmujących 200 pasażerów, przedstawiono w Tabeli 4.

Tabela 4. Dane pomiarowe na stanowisku wyposażonym w WTMD (31.07.2019)

Nr	Alarm	Kontrola manualna	Ponowne przejście	Czas kontroli [s]
1	Nie	Nie	Nie	4
2	Nie	Nie	Nie	3
3	Tak	Tak	Nie	12
4	Tak	Tak	Nie	24
5	Tak	Nie	Tak	27
6	Tak	Tak	Nie	22
7	Nie	Nie	Nie	3
8	Nie	Nie	Nie	3
9	Nie	Nie	Nie	2
10	Nie	Nie	Nie	3
11	Nie	Nie	Nie	3
12	Tak	Tak	Nie	19
13	Nie	Nie	Nie	3

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określono dystrybuanty empiryczne zmiennych losowych czasu trwania kontroli na stanowisku wyposażonym w WTMD. Dystrybuanty te są określone niezależnie dla każdej możliwej kombinacji zdarzeń zachodzących w trakcie kontroli. Na Rysunku 16 przedstawiono empiryczne prawdopodobieństwa zachodzenia poszczególnych zdarzeń, natomiast w Tabeli 5 wartości oczekiwane czasu kontroli dla różnych kombinacji zdarzeń.

Tabela 5. Wartość oczekiwana czasu kontroli dla różnych ciągów zdarzeń

Ciąg zdarzeń	Wartość oczekiwana czasu kontroli [s]
Alarm → Kontrola manualna	21,7
Alarm → Powtórne przejście → Kontrola manualna	33,3
Alarm → Powtórne przejście → Brak kontroli	24,2
Brak alarmu → Kontrola manualna	19,3
Brak alarmu → Brak kontroli	2,9
Wszystkie	10,6

Źródło: opracowanie własne.

Rozważania z zakresu psychologii pracy operatorów kontroli bezpieczeństwa wykraczają poza ramy tej pracy, jednak wyniki przedstawione w Tabeli 5 pozwalają na zaobserwowanie dwóch ciekawych zjawisk:

- kontrola manualna wykonana po przejściu przez bramkę bez wzbudzenia alarmu trwa nieco krócej niż w sytuacji z alarmem,
- jeszcze krócej trwa kontrola manualna w przypadku po powtórny przejściu przez bramkę i dwukrotnym wzbudzeniu alarmu.

4.1.2. Przepływ pasażerów – niejonizujące urządzenie do prześwietlania osób

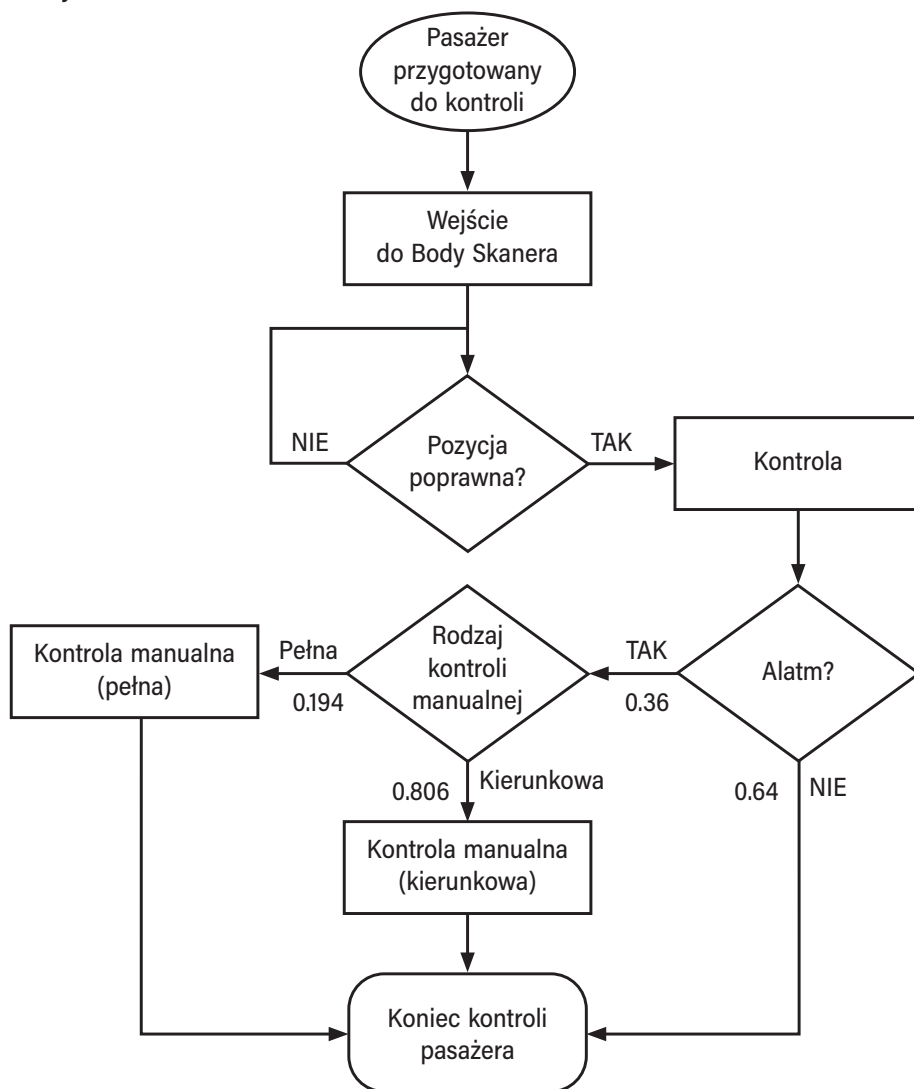
Przy standardowym przepływie pasażerów przez stanowisko wyposażone w body skaner pierwszą czynnością jest wejście do urządzenia, które może mieć różną konstrukcję, jednak w większości przypadków przypomina małą kabinę. Istotną kwestią jest to, że pasażer musi ustawić się w konkretnym miejscu, przyjmując odpowiednią postawę. Zadanie to ułatwia graficzne oznakowanie, pokazujące, gdzie należy stanąć i jak należy trzymać ręce – czasem nad głową, czasem wzdłuż ciała, ale lekko odchylone. Po przyjęciu właściwej pozycji następuje proces kontroli i jeśli pasażer nie ma przy sobie przedmiotów zabronionych, następuje wyjście z kabiny BS i opuszczenie stanowiska.

W przypadku, kiedy urządzenie wykryje podejrzany przedmiot – następuje kontrola manualna, przy czym OKB otrzymuje dokładną informację wizualną o lokalizacji przedmiotu. W zależności od liczby wykrytych przedmiotów mamy do czynienia z kontrolą kierunkową lub pełną.

Z punktu widzenia przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa ważna jest również sytuacja, kiedy pozycja do kontroli przyjęta przez pasażera jest niewłaściwa. W takim przypadku urządzenie nie rozpoczyna prześwietlania (nie jest wykonywana kontrola). Zazwyczaj następuje wówczas interwencja OKB, który przekazuje wskazówki dotyczące korekty pozycji.

Schemat standardowego przepływu pasażerów na stanowisku kontroli wyposażonych w BS przedstawiono na Rysunku 17.

Rysunek 17. Standardowy przepływ pasażerów na stanowisku wyposażonym w body skaner w body skaner



Źródło: opracowanie własne.

Podobnie jak poprzednio, dla określenia przepustowości stanowiska kontroli w warunkach rzeczywistych w lipcu i sierpniu 2019 dokonano pomiarów w terminalu pasażerskim lotniska KTW. Fragment danych pomiarowych, obejmujących 200 pasażerów, przedstawiono w Tabeli 6.

Tabela 6. Dane pomiarowe na stanowisku wyposażonym w BS (16.07.2019)

Nr	Alarm	Kontrola manualna (pełna)	Kontrola manualna (kierunkowa)	Czas kontroli [s]
1	Nie	Nie	Nie	11
2	Tak	Tak	Nie	29
3	Nie	Nie	Nie	13
4	Nie	Nie	Nie	14
5	Tak	Nie	Tak	45
6	Nie	Nie	Nie	10
7	Nie	Nie	Nie	9
8	Nie	Nie	Nie	16
9	Nie	Nie	Nie	14
10	Tak	Nie	Tak	25
11	Tak	Nie	Tak	17
12	Nie	Nie	Nie	8
13	Nie	Nie	Nie	12

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określono dystrybuanty empiryczne zmiennych losowych czasu trwania kontroli na stanowisku wyposażonym w BS. Dystrybuanty te są określone niezależnie dla każdej możliwej kombinacji zdarzeń zachodzących w trakcie kontroli. Na Rysunku 17 przedstawiono empiryczne prawdopodobieństwa zachodzenia poszczególnych zdarzeń, natomiast w Tabeli 7 wartości oczekiwane czasu kontroli dla różnych kombinacji zdarzeń.

Tabela 7. Wartość oczekiwana czasu kontroli dla różnych ciągów zdarzeń

Ciąg zdarzeń	Wartość oczekiwana czasu kontroli [s]
Alarm → Kontrola manualna (pełna)	36,1
Alarm → Kontrola manualna (kierunkowa)	21,5
Brak alarmu → Brak kontroli	8,9
Wszystkie	14,6

Źródło: opracowanie własne.

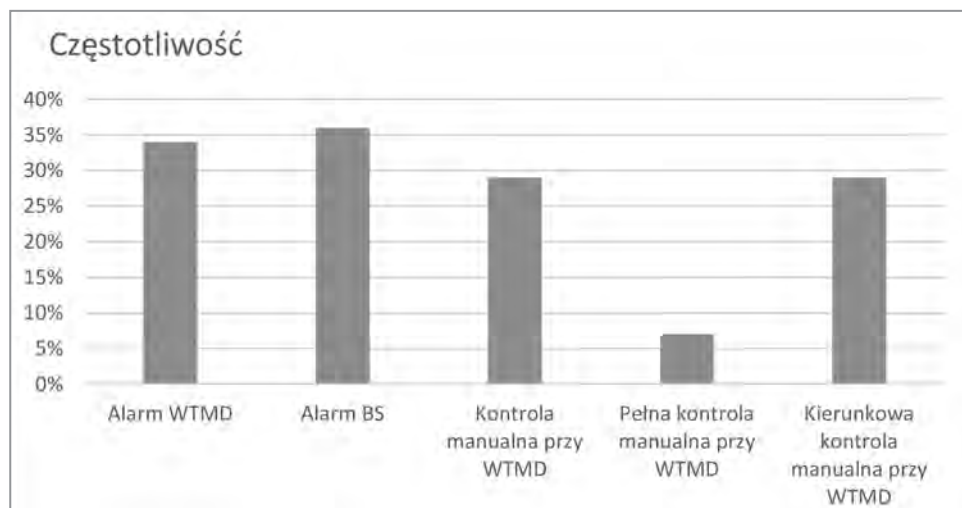
4.2. Analiza danych wejściowych

Przy analizie wyników badań istotne jest zauważenie, że w praktyce mamy do czynienia z trzema grupami pasażerów.

1. Pasażerowie zdyscyplinowani. Są to osoby, które dobrze znają zasady dopuszczania przedmiotów do przewozu lotniczego, potrafią je zidentyfikować w swoim bagażu i w zależności od ich rodzaju – zrezygnować z ich przewozu (na przykład nożyczki, pilnik do paznokci) lub wyłożyć je do kontroli za pomocą urządzenia RTG (na przykład klucze, monety). Należy się spodziewać, że taki pasażer nie wzbudzi alarmu urządzenia kontrolującego, co nie oznacza, że nie będzie poddany wrywkowej kontroli manualnej.
2. Pasażerowie niezdyscyplinowani. W tym przypadku chodzi o pasażerów, którzy nie mają zamiaru świadomie naruszać zasad przewozu przedmiotów, jednak z powodu niewiedzy lub przez nieuwagę nie usuną przed kontrolą wszystkich przedmiotów, które powinny zostać usunięte. W tym przypadku należy się spodziewać alarmu bramki WTMD, jeśli mamy do czynienia z przedmiotami metalowymi (o ile masa przedmiotu metalowego jest większa niż graniczna czułość bramki). Body skaner zareaguje alarmem zarówno w przypadku przedmiotów metalowych, jak i niemetalowych.
3. Pasażerowie niebezpieczni. Mamy tu na myśli osoby, które świadomie zamierzają wnieść na pokład samolotu przedmioty zabronione i będą stosowały zabiegi utrudniające ich wykrycie. Niezależnie od tego, czy ich intencją jest dokonanie aktu bezprawnej ingerencji, czy zwykła próba przeniesienia przedmiotu potrzebnego, ale zabronionego (na przykład nożyczki), możemy się w tym przypadku spodziewać alarmu bramki, ale także zwiększonego prawdopodobieństwa kontroli manualnej. OKB są bowiem przeszkoleni pod kątem wykrycia nietypowego zachowania pasażera czy nietypowego wyglądu jego odzieży, co jest bardziej prawdopodobne w przypadku tej grupy pasażerów.

Ogólne porównanie liczby alarmów i liczby kontroli manualnych dla obu rodzajów urządzeń na podstawie pomiarów przedstawiono na Rysunku 18.

Rysunek 18. Empiryczna częstość alarmów i kontroli manualnych



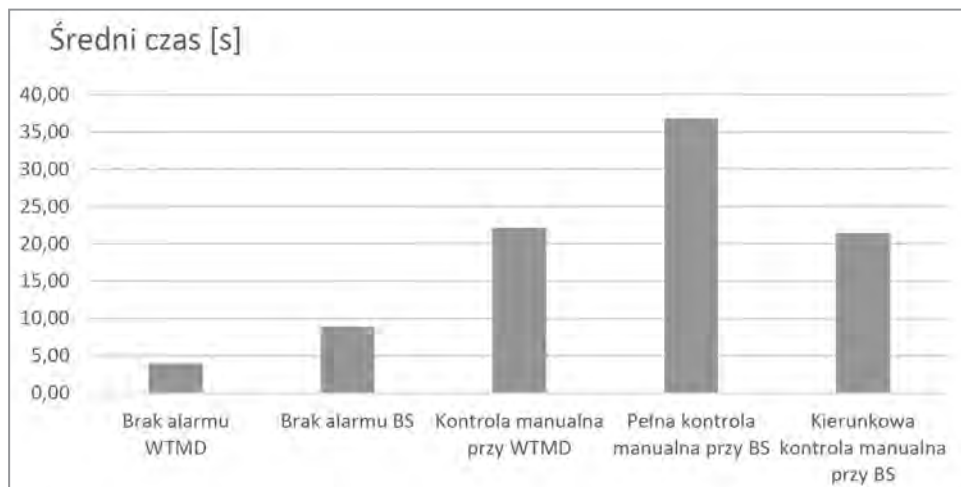
Źródło: opracowanie własne.

Jak możemy zaobserwować na Rysunku 18, częstość alarmów dla urządzeń WTMD i BS jest bardzo zbliżona. Przeczy to nieco intuicji, która podpowiada, że w BS liczba alarmów (a zatem wykrytych przedmiotów zabronionych) powinna być większa, ponieważ wykrywane są także przedmioty niemetalowe. Należy jednak mieć na uwadze, że w ogólnej liczbie alarmów bramki WTMD uwzględniono również alarmy przy powtórным przejściu przez bramkę. Jak już wspomniano, w takiej sytuacji alarm może się powtórzyć, ale nie jest to regułą, gdyż pasażer może sobie przypomnieć, że ma jeszcze przedmioty metalowe, i wyjąć je przed powtórным przejściem przez bramkę.

Za bardziej miarodajne można uznać porównanie liczby kontroli manualnych dla obu urządzeń. Według analizowanej procedury każdy alarm BS powoduje kontrolę manualną – pełną lub kierunkową. W zrealizowanej próbkę dotyczyło to 36% pasażerów. W przypadku WTMD część alarmów nie wymaga kontroli manualnej, jeśli przy powtórным przejściu (po wyjęciu zapomnianych przedmiotów metalowych) alarm nie powtarza się. Jednak, z drugiej strony, także część pasażerów, którzy nie wzbudzili alarmu, poddawana jest kontroli wyrzykowej. Sumarycznie kontrola manualna po przejściu przez bramkę WTMD dotyczyła 29% pasażerów.

Interesujące jest także porównanie czasów różnych typów kontroli przy stosowaniu obu urządzeń. Wykres z próbki pomiarowej przedstawiono na Rysunku 19.

Rysunek 19. Czas kontroli w różnych sytuacjach operacyjnych



Źródło: opracowanie własne.

Wyraźnie widać, że dla pasażerów zdyscyplinowanych czas kontroli jest znacznie dłuższy podczas wykorzystywania body skanera niż bramki WTMD. Wynika to oczywiście ze sposobu działania urządzenia. Przy korzystaniu z WTMD pasażer swobodnie przechodzi przez bramkę, zaś przy korzystaniu z BS musi wykonać dodatkowe czynności. Jest to o tyle istotne, że ta grupa pasażerów stanowi największy odsetek obsługiwanych.

Częstość występowania pełnych kontroli manualnych przy wykorzystaniu BS daje nam pewne pojęcie o liczbie pasażerów nazwanych przez nas potencjalnie niebezpiecznymi. Można bowiem przyjąć, że jeśli pasażer ma przy sobie cztery lub więcej przedmiotów, które wzbudziły alarm BS, to nie jest to kwestia przypadku czy roztargnienia, a celowe działanie. Oczywiście zazwyczaj nie chodzi o chęć dokonania aktu bezprawnej ingerencji, a jedynie o chęć sprawdzenia, jak zachowają się służby kontrolne. Co ciekawe, dla tych osób czas pełnej kontroli manualnej jest dłuższy, niż pełnej kontroli manualnej przy stosowaniu WTMD. Jest to nieco zaskakujące, biorąc pod uwagę, że co do istoty zakres kontroli w obu tych przypadkach nie różni się. Zjawisko to można wyjaśnić na dwa sposoby.

- Operator kontroli bezpieczeństwa po użyciu BS ma świadomość, że może mieć do czynienia z pasażerem niebezpiecznym, zatem stara się wykonać przeszkolenie jeszcze staranniej niż zwykle. Alternatywnie, OKB kontrolując manualnie losowego pasażera, który nie wzbudził alarmu WTMD, ma świadomość, że prawdopodobnie ma do czynienia z pasażerem zdyscyplinowanym, którego nie ma powodu podejrzewać o przenoszenie przedmiotów zabronionych, zatem kontrola manualna może być przeprowadzana nieco szybciej.

- BS wskazuje wszystkie miejsca, które należy dokładnie sprawdzić. W takiej sytuacji OKB jest zobowiązany ujawnić wszystkie przedmioty, które spowodowały alarm. W przypadku przedmiotów drobnych lub takich, co do których mamy wątpliwość, czy mogły wzbudzić alarm urządzenia, proces poszukiwania i wyjaśniania przyczyny alarmu może trwać nieco dłużej.

Pozostaje trzecia grupa – pasażerów niezdyscyplinowanych. W przypadku wykorzystywania WTMD jest to grupa wzbudzająca alarm przy dwukrotnym przejściu, zatem są to pasażerowie poddawani kontroli manualnej. W przypadku użycia BS jest to grupa, dla której ma zastosowanie kontrola kierunkowa. Jak widać z przedstawionych danych pomiarowych, jest to grupa dość liczna (około 30%), a czas kontroli manualnej jest zbliżony, niezależnie od typu wykorzystanego detektora.

4.2.1. Implementacja modelu w postaci kolorowanej sieci Petriego

Model odwzorowujący procesy kontroli na stanowisku wyposażonym w WTMD i BS został zaimplementowany w formie kolorowanej czasowej sieci Petriego. Procesy te są dynamiczne i możemy je rozpatrywać jako ciągłe w czasie i dyskretne co do stanów. Będziemy je badać metodą symulacji dyskretnej, co powoduje, że sieci Petriego stanowią idealne narzędzie do ich implementacji. Sieci Petriego pierwotnie były wykorzystywane do analizy procesów współbieżnych zachodzących w systemach komputerowych, jednak współcześnie znalazły znacznie więcej zastosowań w różnych obszarach, także w badaniu operacji w transporcie lotniczym.

Model stanowiska kontroli został zbudowany w oparciu o kolorowaną sieć Petriego

$$S_{SD} = \{P, T, A, M_0, \tau, X, \Gamma, C, G, E, R, r_0\} \quad (43)$$

gdzie:

P – zbiór miejsc reprezentujących poszczególne stany procesu kontroli,

T – zbiór przejść $T \cap P = \emptyset$, reprezentujących zdarzenia (działania) w procesie kontroli bezpieczeństwa pasażera,

$A \subseteq (T \times P) \cup (P \times T)$ – zbiór elementów pokazujących relacje między zdarzeniami a stanami w procesie kontroli,

$M_0: P \rightarrow \mathbb{Z}_+ \times R$ – oznaczenie określające stan początkowy systemu,

$\tau: T \times P \rightarrow \mathbb{R}_+$ – funkcja określająca statyczne opóźnienie czynności (zdarzenia) t ,

$X: T \times P \rightarrow \mathbb{R}_+$ – losowy czas wykonywania czynności (zdarzenia) t ,

Γ – skończony zbiór kolorów, które odpowiadają możliwym właściwościom bloków,

C – funkcja określająca, jakie rodzaje bloków mogą być przechowywane w danym miejscu: $C: P \rightarrow \Gamma$,

G – funkcja określająca warunki wystąpienia danego zdarzenia,

E – funkcja opisująca właściwości bloków, które są przetwarzane,

R – zbiór znaczników czasowych (zwanymi także punktami czasowymi) $R \subseteq \mathbb{R}$,

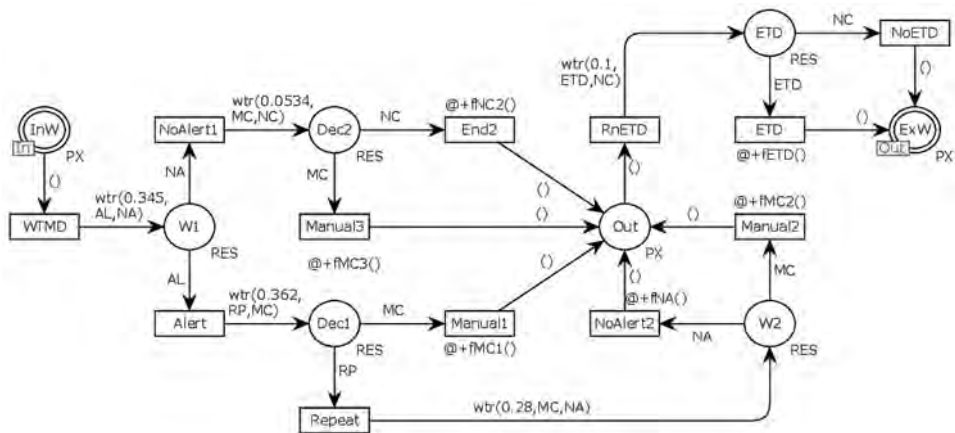
r_0 – czas rozpoczęcia, $r_0 \in R$.

Pakiet CPN Tools 4.0 został wybrany do tworzenia i badania modelu kolorowych sieci Petriego. Jest on bardzo wygodny do tego typu analiz głównie ze względu na przejrzystość i spójność modelu, a w szczególności z uwagi na możliwość analizowania przebiegu procesu kontroli dla każdego pasażera oddzielnie. Pozwala to uwzględnić w modelu różnego rodzaju indywidualne właściwości i zachowania pasażera, a także obserwować zmiany zachodzące w systemie wraz ze zmianami organizacyjnymi czy operacyjnymi (Jensen et al., 2007).

Model stanowiska wyposażonego w WTMD

Fragment modelu reprezentujący proces kontroli z wykorzystaniem urządzenia WTMD przedstawiono na Rysunku 20.

Rysunek 20. Model procesu kontroli z wykorzystaniem WTMD



Źródło: opracowanie własne.

Zbiór miejsc zdefiniujemy następująco

$$P = \{InW, W1, W2, Dec1, Dec2, Out, ETD, ExW\} \quad (44)$$

Miejsce odpowiada sytuacji, kiedy pasażer jest przygotowany do kontroli z wykorzystaniem WTMD. Miejsca $W1$ oraz $W2$ odzorowują sytuację po przejściu przez bramkę, odpowiednio pierwszym, któremu poddawany jest każdy pasażer,

oraz drugim, które może mieć miejsce po tym, jak podczas pierwszej kontroli nastąpiła sygnalizacja alarmu przez bramkę WTMD. Miejsca *Dec1* oraz *Dec2* reprezentują sytuacje decyzyjne operatora kontroli bezpieczeństwa, odpowiednio po tym, jak bramka WTMD zasygnalizowała alarm, oraz jak przejście przez bramkę nie wzbudziło alarmu. Miejsce *Out* odpowiada wyjściu pasażera ze stanowiska kontroli realizowanej przez bramkę. Miejsce *ETD* reprezentuje kontrolę wykonywaną z wykorzystaniem urządzenia ETD. Natomiast miejsce *ExW* oznacza całkowite opuszczenie stanowiska kontroli bezpieczeństwa.

Zbiór tranzyjacji jest następujący

$$T = \left\{ \begin{array}{l} WTMD, Alert, NoAlert1, NoAlert2, Manual1, \\ Manual2, Manual3, Repeat, End, RnETD, ETD, NoETD \end{array} \right\} \quad (45)$$

Miejsce *WTMD* reprezentuje przechodzenie pasażera przez bramkę WTMD. Tranzyjacja *Alert* odpowiada kontroli przez bramkę WTMD w sytuacji, kiedy pasażer posiada przy sobie przedmioty powodujące wzbudzenie alarmu. Tranzyjacje *NoAlert1* oraz *NoAlert2* reprezentują sytuację, kiedy przejście pasażera nie powoduje alarmu WTMD, odpowiednio przy pierwszym oraz ponownym przejściu przez bramkę. Tranzyjacje *Manual1*, *Manual2* oraz *Manual3* odpowiadają za kontrolę manualną odpowiednio: po pierwszym i drugim przejściu przez bramkę zakończonym alarmem oraz w sytuacji, kiedy mimo braku alarmu przy pierwszym przejściu przez bramkę, OKB zakwalifikował pasażera do wrywkowej kontroli manualnej. Tranzyjacja *Repeat* reprezentuje ponowne przejście pasażera przez bramkę WTMD. Tranzyjacja *End* odpowiada za zakończenie kontroli pasażera bez kontroli manualnej. Tranzyjacja *RnETD* jest odpowiedzialna za losowy wybór pasażera do kontroli z wykorzystaniem urządzenia ETD. W zależności od wyniku tego wyboru realizowana jest tranzyjacja *ETD* albo *NoETD*.

Zbiór kolorów jest następujący

$$\Gamma = \{RES, SCPX\} \quad (46)$$

Znaczniki opisujące stany systemu kontroli są reprezentowane przez kolor *RES*, przy czym

$$RES = \{NA, AL, RP, MC, NC, ETD\} \quad (47)$$

gdzie:

NA – stan po przejściu bramki WTMD, która nie wygenerowała alarmu,

AL – stan po przejściu bramki WTMD, która wygenerowała alarm,

RP – stan po decyzji OKB o konieczności ponownego przejścia pasażera przez bramkę,

MC – stan po decyzji OKB o konieczności przeprowadzenia kontroli manualnej,

NC – stan po decyzji OKB o nieprzeprowadzaniu kontroli,

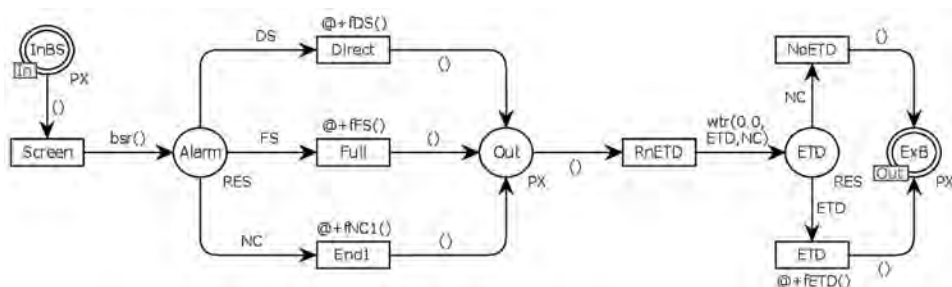
ETD – stan po decyzji o przeprowadzeniu kontroli z wykorzystaniem urządzenia ETD.

Ważną rolę w modelu odgrywa także funkcja *wtr()* odpowiedzialna za realizację procesów losowych zgodnie z prawdopodobieństwami empirycznymi przedstawionymi na Rysunku 20. Podobną rolę w odniesieniu do empirycznych dystrybuant czasu realizacji kontroli w sekwencjach wymienionych w Tabeli 7 odgrywają funkcje *fMC1()*, ..., *fMC3()* oraz *fNA1()*, *fETD()* i *fNC2()*.

Model stanowiska wyposażonego w body skaner

Fragment modelu reprezentujący proces kontroli z wykorzystaniem urządzenia BS przedstawiono na Rysunku 21.

Rysunek 21. Model procesu kontroli z wykorzystaniem body skanera



Źródło: opracowanie własne.

W tym przypadku zbiór miejsc zdefiniujemy następująco:

$$P = \{InBS, Alarm, Out, ETD, ExB\} \quad (48)$$

Miejsce *InBS* odzorowuje sytuację, kiedy pasażer znajduje się wewnątrz kabiny body skanera – ustawia się do kontroli i jest poddawany prześwietlaniu. Miejsce *Alarm* reprezentuje sytuacje decyzyjne operatora kontroli bezpieczeństwa po zadziałaniu urządzenia. Miejsce *Out* odpowiada wyjściu pasażera ze stanowiska kontroli. Miejsca *ETD* oraz *ExB* mają identyczny sens, jak w przypadku części modelu odpowiedzialnej za kontrolę na stanowisku wyposażonym w WTMD.

Zbiór tranzycji jest następujący

$$T = \{Screen, Full, Direct, End1, RnETD, ETD, NoETD\} \quad (49)$$

Tranzycja *Screen* odpowiada procesowi prześwietlania pasażera. Tranzycja *Full* reprezentuje sytuację, kiedy liczba wykrytych przez bramkę potencjalnych punktów ukrycia przedmiotu zabronionego jest na tyle duża, że uzasadnia to przeprowadzenie

pełnej kontroli manualnej. Tranzycja *Direct* odpowiada za kierunkową kontrolę manualną. Tranzycja *End1* odpowiada za zakończenie kontroli pasażera bez kontroli manualnej. Tranzycje *RnETD*, *ETD* i *NoETD* mają identyczny sens, jak w przypadku części modelu odpowiedzialnej za kontrolę na stanowisku wyposażonym w WTMD.

Zbiór kolorów jest taki sam, jak w modelu stanowiska wyposażonego w WTMD, przy czym kolor *RES* przechowujący znaczniki opisujące stany systemu kontroli ma następujące elementy

$$RES = \{NC, FS, DS, ETD\} \quad (50)$$

gdzie:

NC – stan po decyzji OKB o nieprzeprowadzaniu kontroli,

FS – stan po decyzji OKB o konieczności przeprowadzenia pełnej kontroli manualnej,

DS – stan po decyzji OKB o konieczności przeprowadzenia kierunkowej kontroli manualnej,

ETD – stan po decyzji o przeprowadzeniu kontroli z wykorzystaniem urządzenia ETD.

Za realizację procesów losowych zgodnie z prawdopodobieństwami empirycznymi przedstawionymi na **Rysunku 2** odpowiada funkcja $bsr()$. Empiryczne dystrybuanty czasu realizacji kontroli w sekwencjach wymienionych w Tabeli 4 są generowane przez funkcje $fDS()$, $fFS()$, $fETD()$ oraz $fNC1()$.

4.3. Walidacja modelu

Dla sprawdzenia poprawności działania modelu dokonano analitycznego wyznaczenia empirycznej przepustowości urządzenia. Otrzymane wielkości zostaną następnie porównane z wartościami przepustowości uzyskanymi bezpośrednio z wyżej opisanego modelu.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- dla stanowiska wyposażonego w bramkę WTMD:

t_s^{WTMD} – średni czas kontroli pasażerów, którzy nie wzbudzili alarmu i nie podlegali kontroli manualnej,

t_{mc}^{WTMD} – średni czas kontroli pasażerów, którzy wzbudzili alarm i podlegali kontroli manualnej,

t_r^{WTMD} – średni czas kontroli pasażerów, którzy ponownie przechodzili przez bramkę i nie podlegali kontroli manualnej,

t_{rmc}^{WTMD} – średni czas kontroli pasażerów, którzy ponownie przechodzili przez bramkę i podlegali kontroli manualnej,

t_{etd}^{WTMD} – średni czas kontroli z wykorzystaniem urządzenia ETD,

- P_s^{WTMD} – częstość sytuacji, że pasażer nie wzbudził alarmu i nie podlegał kontroli manualnej,
- P_{mc}^{WTMD} – częstość sytuacji, że pasażer wzbudził alarm i podlegał kontroli manualnej,
- P_r^{WTMD} – częstość sytuacji, że pasażer ponownie przechodził przez bramkę i nie podlegał kontroli manualnej,
- P_{rmc}^{WTMD} – częstość sytuacji, że pasażer ponownie przechodził przez bramkę i podlegał kontroli manualnej,
- P_{etd}^{WTMD} – częstość sytuacji, że pasażer był kontrolowany z wykorzystaniem ETD,

- dla stanowiska wyposażonego w BS:

- t_s^{BS} – średni czas kontroli pasażerów, którzy nie wzbudzili alarmu i nie podlegali kontroli manualnej,
- t_{fmc}^{BS} – średni czas kontroli pasażerów, którzy wzbudzili alarm i podlegali pełnej kontroli manualnej,
- t_{dmc}^{BS} – średni czas kontroli pasażerów, którzy wzbudzili alarm i podlegali kierunkowej kontroli manualnej,
- P_s^{BS} – częstość sytuacji, że pasażer nie wzbudził alarmu i nie podlegał kontroli manualnej,
- P_{fms}^{BS} – częstość sytuacji, że pasażer wzbudził alarm i podlegał pełnej kontroli manualnej,
- P_{dmc}^{BS} – częstość sytuacji, że pasażer wzbudził alarm i podlegał kierunkowej kontroli manualnej.

Dla powyższych oznaczeń otrzymano zależności na przepustowość godzinową, dla stanowiska wyposażonego w bramkę WTMD

$$T^{WTMD} = \frac{3600}{P_s^{WTMD} \cdot t_s^{WTMD} + P_{mc}^{WTMD} \cdot t_{mc}^{WTMD} + P_r^{WTMD} \cdot t_r^{WTMD} + P_{rmc}^{WTMD} \cdot t_{rmc}^{WTMD} + P_{etd}^{WTMD} \cdot t_{etd}^{WTMD}} \quad (51)$$

oraz dla stanowiska wyposażonego w BS

$$T^{BS} = \frac{3600}{P_s^{BS} \cdot t_s^{BS} + P_{fmc}^{BS} \cdot t_{fmc}^{BS} + P_{dmc}^{BS} \cdot t_{dmc}^{BS}} \quad (52)$$

Podstawiając we wzorach (51) i (52) wartości liczbowe dotyczące częstości zdarzeń przedstawione na Rysunkach 16 i 17 oraz dotyczące czasów trwania kontroli przedstawione w Tabelach 5 i 7 otrzymujemy analityczne wartości przepustowości $T^{WTMD} = 281$ oraz $T^{BS} = 249$. Wartości te zostaną wykorzystane do sprawdzenia poprawności modelu w postaci sieci Petriego.

4.4. Analiza przepustowości stanowiska do kontroli osób

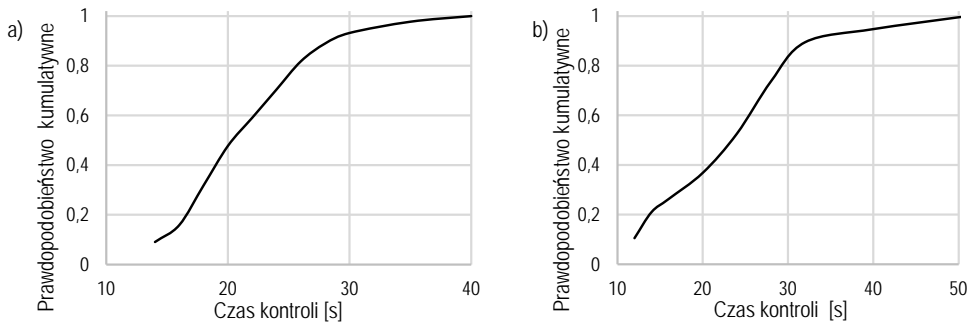
Analiza przepustowości stanowiska do kontroli osób wyposażonego w WTMD i body skaner została przeprowadzona dla warunków nominalnych, zgodnych z wcześniej wspomnianymi pomiarami. Jednocześnie poniżej przedstawiono porównanie wyników otrzymanych z modelu w wynikami rzeczywistymi, co stanowiło metodę weryfikacji uzyskiwanych rezultatów.

Przepustowość PKB wyposażonego w WTMD

Do oceny przepustowości w warunkach nominalnych wykorzystano bezpośrednio pomiary powyżej zaprezentowane. Prawdopodobieństwa poszczególnych zdarzeń przyjęto zgodnie z Rysunkiem 16. Przykładowe dystrybuanty czasów kontroli dla sekwencji z Tabeli 4 przedstawiono na Rysunku 22.

Rysunek 22. Empiryczne dystrybuanty czasu kontroli dla sekwencji

a) Alarm → Kontrola manualna, b) Alarm → Powtórne przejście → Brak kontroli



Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonego zestawu danych przeprowadzono symulację 10^6 sekund (około 280 godzin) nieprzerwanej pracy stanowiska. Zakładając ciągły napływ pasażerów gotowych do kontroli, pozwala to na obsłużenie 79 770 pasażerów. Oznacza to, że przepustowość stanowiska wyposażonego w WTMD, w warunkach nominalnych, wynosi 287 pasażerów na godzinę.

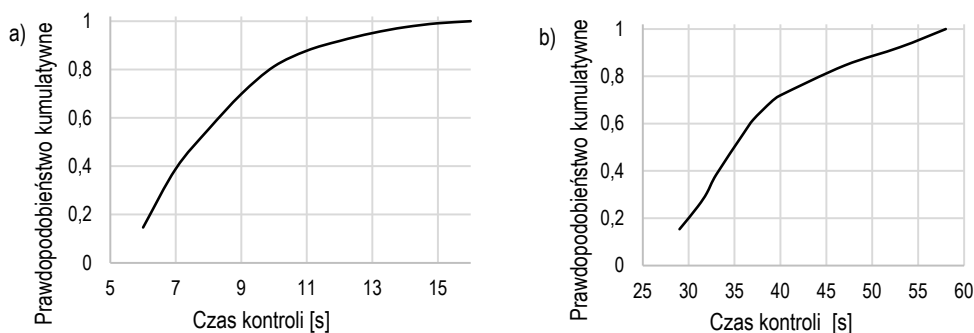
W celu sprawdzenia poprawności działania wykonanego narzędzia uzyskane wyniki zostały porównane z obliczeniami analitycznymi. Uzyskany tutaj wynik przepustowości 281 pasażerów na godzinę jest bardzo zbliżony do wyniku uzyskanego z modelu (różnica rzędu 2%). Na tej podstawie można wnioskować o poprawności zbudowanego modelu.

Przepustowość PKB wyposażonego w body skaner

Prawdopodobieństwa poszczególnych zdarzeń przyjęto zgodnie z Rysunkiem 17. Przykładowe dystrybuanty czasów kontroli dla sekwencji z Tabeli 7 przedstawiono na Rysunku 23.

Rysunek 23. Empiryczne dystrybuanty czasu kontroli dla przypadku

a) bez kontroli manualnej, b) pełnej kontroli manualnej



Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonego zestawu danych, wykorzystując wyżej opisany model, przeprowadzono symulację 10^6 sekund (około 280 godzin) nieprzerwanej pracy stanowiska. Zakładając ciągły napływ pasażerów gotowych do kontroli, pozwala to na obsłużenie 69 716 pasażerów. Oznacza to, że przepustowość stanowiska wyposażonego w body skaner, w warunkach nominalnych, wynosi 251 pasażerów na godzinę.

W celu sprawdzenia poprawności działania wykonanego narzędzia, uzyskane wyniki porównane zostały z obliczeniami analitycznymi. Uzyskany tutaj wynik przepustowości 249 pasażerów na godzinę jest bardzo zbliżony do wyniku uzyskanego z modelu (różnica poniżej 1%). Na tej podstawie można wnioskować o poprawności zbudowanego modelu.

4.5. Analiza skuteczności działania urządzenia do kontroli osób

Podejmowanie decyzji odnośnie do wyposażenia i organizacji punktu kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym wymaga wiedzy o konsekwencjach poszczególnych rozwiązań zarówno dla przepustowości, jak i skuteczności kontroli. Ta ostatnia ma ogromny wpływ na bezpieczeństwo operacji lotniczych. Niestety, nie jesteśmy w stanie bezpośrednio zmierzyć, ile przedmiotów zabronionych zostało przeniesionych na pokład samolotu przez kontrolowane

osoby pomimo zastosowania wobec nich wymaganej kontroli. Gdyby była taka możliwość, OKB niezwłocznie podjąłby działania w celu usunięcia zagrożenia. Z tego też powodu mamy tutaj do czynienia z informacją niepewną i nieprecyzyjną. W takich sytuacjach należy stosować adekwatny aparat matematyczny. Wcześniejsze doświadczenia z przeprowadzonych badań wskazują, że do oceny skuteczności elementów systemu kontroli bezpieczeństwa dobrze sprawdza się logika rozmyta, a dokładniej systemy wnioskowania rozmytego (Skorupski & Uchroński, 2018).

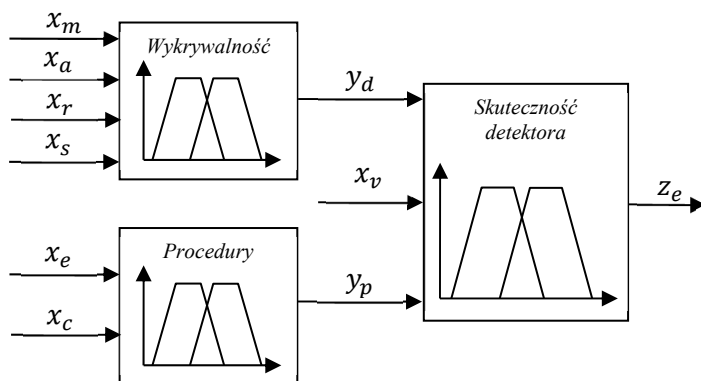
4.5.1. Rozmyty model do oceny skuteczności detektorów przedmiotów zabronionych

Jak już wspomniano, w pracy (Skorupski & Uchroński, 2017) przedstawiono model rozmyty do oceny skuteczności bramki WTMD. W niniejszej pracy przedstawione jest m.in. rozwinięcie tego modelu – uzupełniono go w związku z rozwojem technologii zarówno samych bramek WTMD, jak i pojawieniem się body skanerów, oraz koniecznością uwzględnienia pewnych elementów procedur kontroli, co jest niezbędne ze względu na badanie także przepustowości, a także koniecznością porównania detektorów przedmiotów zabronionych o różniących się właściwościach i funkcjonalnościach.

Ogólną strukturę modelu *Skuteczność detektora* (z_e) do oceny skuteczności urządzeń do wykrywania przedmiotów zabronionych przedstawiono na Rysunku 24. Zmienne wejściowe do modelu są następujące:

- *Wykrywalność* (y_d) określająca zdolność urządzenia do wykrycia zabronionego przedmiotu. Jest ona wyjściem lokalnego modelu wnioskowania rozmytego o czterech wejściach – *Materiały* (x_m), *Powierzchnia wykrywania* (x_a), *Rozdzielczość wykrywania* (x_r) oraz *Czułość* (x_s).
- *Rozdzielczość wizualizacji* (x_v) określająca zdolność urządzenia do precyzyjnego wskazania, gdzie należy tego przedmiotu szukać.
- Dodatkowo w odniesieniu do bramki WTDM będzie wykorzystywana zmienna *Procedury* (y_p), określająca wpływ dodatkowych procedur na osiągnięty poziom skuteczności. Jest ona wyjściem lokalnego modelu wnioskowania rozmytego o dwóch wejściach – *Częstość kontroli ETD* (x_e) oraz *Częstość kontroli manualnych* (x_c).

Rysunek 24. Schemat rozmytego modelu do oceny systemu kontroli osób



Źródło: opracowanie własne.

4.5.2. Lokalny system wnioskowania rozmytego *Wykrywalność*

Pod pojęciem wykrywalności rozumiemy zdolność do wykrycia na ciele osoby wszystkich przedmiotów i substancji, których wnoszenie na pokład samolotu jest zabronione. Własność ta obejmuje następujące elementy:

- możliwość wykrywania przedmiotów wykonanych z różnych materiałów,
- objęcie wykrywaniem całego ciała pasażera,
- zdolność do wykrycia i rozróżnienia kilku przedmiotów znajdujących się w niewielkiej odległości,
- zdolność do wykrycia przedmiotu o określonej masie.

Biorąc te czynniki pod uwagę, wartość zmiennej lingwistycznej *Wykrywalność* (y_d) będzie rezultatem działania systemu wnioskowania rozmytego o czterech wejściach.

Zmienna wejściowa Materiały (x_m)

Zmienna ta będzie przyjmować jedną z dwóch wartości lingwistycznych, odpowiednio do zakresu wykrywalności obu typów detektorów. Zbiory rozmyte reprezentujące wartości zmiennej lingwistycznej *Materiały* będą rozmytymi singletonami o następującej funkcji przynależności

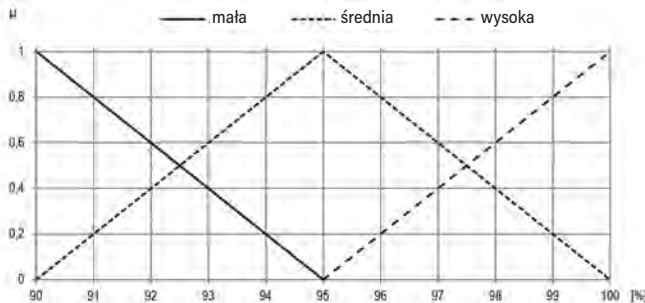
$$\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x = i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (53)$$

gdzie $A_i \in \{a_1 = \text{metale}, a_2 = \text{metale i niemetale}\}$.

Zmienna wejściowa Powierzchnia wykrywania (x_a)

Uwzględnienie tej zmiennej jest spowodowane faktem, że niektóre z urządzeń dostępnych na rynku mogą nie obejmować całej powierzchni ciała pasażera. Dotyczy to bardziej zasłoniętych partii ciała lub na przykład okolicy stóp. W sposób oczywisty brak dokładnej penetracji całego ciała przez detektor zmniejsza skuteczność kontroli. Zmienna lingwistyczna *Powierzchnia wykrywania* będzie przyjmowała jedną z trzech wartości *mała*, *średnia*, *duża*. Na Rysunku 25 zaprezentowano odpowiadające im funkcje przynależności. Ich konstrukcja jest oparta na procencie powierzchni ciała obejmowanej przez detektor.

Rysunek 25. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej *Powierzchnia wykrywania*



Źródło: opracowanie własne.

Zmienna wejściowa Rozdzielczość wykrywania (x_r)

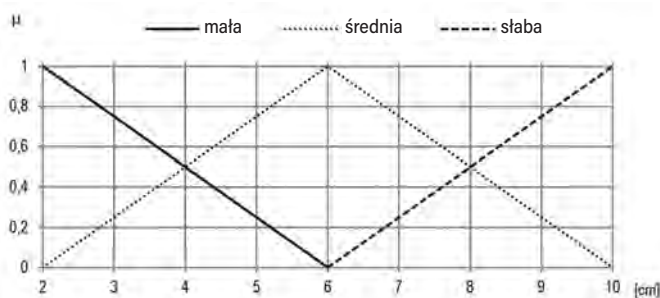
Niezależnie od użytego detektora sposób jego działania polega na przekazaniu sygnału testowego od nadajnika do odbiornika. Jeśli sygnał dociera do odbiornika bez zakłóceń – oznacza to, że na drodze sygnału nie było przedmiotu zabronionego. Brak sygnału w odbiorniku oznacza sytuację przeciwną. Liczba nadajników i odbiorników sygnału testowego decyduje o rozdzielczości wykrywania, która ma duży wpływ na skuteczność kontroli.

W przypadku słabej rozdzielczości potencjalny napastnik może ukryć kilka przedmiotów w niewielkiej odległości. W takim przypadku OKB może popełnić błąd, polegający na przerwaniu kontroli manualnej po ujawnieniu pierwszego z przedmiotów. Jeśli jest to przedmiot, który nie powinien być przenoszony przez detektor, ale nie niebezpieczny, na przykład klucze, może to odwrócić uwagę OKB od innego przedmiotu, tym razem już niebezpiecznego. Z drugiej strony zakres kontroli manualnej po alarmie wygenerowanym przez BS jest zależny od liczby ujawnionych przedmiotów. Przy słabej rozdzielczości wykrywania kilka przedmiotów ukrytych blisko siebie może wygenerować tylko jeden alarm i w konsekwencji zamiast kontroli pełnej zostanie wykonana tylko kontrola kierunkowa.

Odrębną kwestią jest, że małe przedmioty, poniżej rozdzielczości wykrywania, także mogą stanowić potencjalne niebezpieczeństwo. Dodatkowo uszkodzenie jednej z par nadajnik-odbiornik powoduje, że część ciała pasażera nie jest poddawana kontroli, co oczywiście ma wpływ na skuteczność kontroli – tym większy, im słabsza rozdzielczość wykrywania.

W prezentowanym modelu zmienna lingwistyczna *Rozdzielczość wykrywania* będzie przyjmowała jedną z trzech wartości – *dobra*, *średnia*, *słaba*. Zbiory rozmyte reprezentujące poszczególne wartości lingwistyczne zostały przedstawione na Rysunku 26. Definiujemy je na podstawie minimalnej wielkości wykrywanego przedmiotu lub ujmując inaczej – minimalnej odległości pozwalającej na identyfikację dwóch przedmiotów ukrytych blisko siebie.

Rysunek 26. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej *Rozdzielczość wykrywania*



Źródło: opracowanie własne.

Analiza zasady działania poszczególnych detektorów pozwoliła na oszacowanie zakresu tych wartości. W przypadku bramek WTMD mamy do czynienia z tak zwanymi strefami detekcji. W zależności od ich liczby możemy przyjąć, że dla bramki o wysokości 200 cm przeciętna rozdzielczość wykrywania wynosi około 6–10 cm. Natomiast w przypadku BS mamy detektory rozmieszczone na płaszczyźnie. W zależności od liczby detektorów, zakładając, że urządzenie ma około 70 cm szerokości, możemy oszacować rozdzielczość wykrywania na około 2–5 cm. Oczywiście dla każdego detektora należy dokonać dokładnego obliczenia w zależności od jego parametrów technicznych.

Zmienna wejściowa Czulość (x_s)

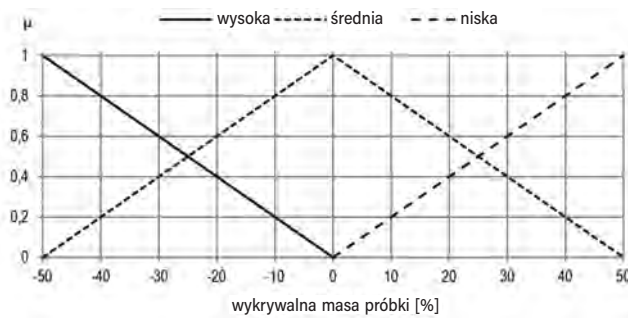
Detektory przedmiotów zabronionych mogą pracować w różnych zakresach czułości. W zależności od przewidywanego zagrożenia lub miejsca lokalizacji detektora mogą być one przystosowane do wykrywania mniejszych lub większych przedmiotów. Dotyczy to zwłaszcza bramek WTMD, dla których istnieje szeroka

możliwość zmiany czułości. W odniesieniu do BS producenci nie przewidują dotychczas takich możliwości regulacyjnych, ale nie można tego wykluczyć dla przyszłych implementacji.

Detektory wykorzystywane w ramach kontroli bezpieczeństwa na lotniskach muszą spełniać określone normy i są kalibrowane z wykorzystaniem tak zwanej próbki kontrolnej. Celem tego zabiegu jest dostosowanie ustawień czułości do warunków zewnętrznych.

W pracy (Skorupski & Uchroński, 2017) zaproponowano określanie czułości bramki za pomocą minimalnej masy próbek z mosiądzu manganowego (M-Mn) oraz miedzioniklu (MN) wykrywanych przez urządzenie. Dodatkowo przedstawiona tam została zależność między tą masą a nastawą czułości. Tutaj przyjęto analogiczny sposób określania czułości urządzenia. Oczywiście dla BS należy uwzględnić wielkość (masę) także przedmiotów niemetalowych. W jego efekcie zmienna lingwistyczna *Czułość* będzie przyjmowała wartości *niska*, *średnia* i *wysoka*. Postać zbiorów rozmytych reprezentujących poszczególne wartości zmiennej lingwistycznej *Czułość* przedstawiono na Rysunku 27. Poszczególne wartości są określone przez porównanie masy rzeczywiście wykrywanej próbki w stosunku procentowym do masy próbki testowej wykorzystywanej do kalibracji.

Rysunek 27. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej *Czułość*



Źródło: opracowanie własne.

Zmienna wyjściowa Wykrywalność (y_d)

Zmienna wyjściowa *Wykrywalność* jest określana z wykorzystaniem systemu wnioskowania rozmytego o czterech wejściach omówionych powyżej i jednym wyjściu. Korzystając z ogólnej zasady działania systemu wnioskowania rozmytego, wykorzystujemy w tym przypadku bazę wiedzy w postaci reguł rozmytych, uzyskanych dzięki wywiadam i ankietom przeprowadzonym z ekspertami. Rae & Alexander (2017) zauważają, że jako ekspertów należy wybierać ludzi, którzy mogą mieć systematyczną przewagę przy tworzeniu prognoz. Definiują oni trzy

grupy takich osób: (i) tych, którzy mogą mieć dostęp do uprzywilejowanych informacji posiadanych tylko przez ekspertów, (ii) tych, którzy mają głębokie zrozumienie specyficznych mechanizmów przyczynowych prowadzących do przyszłych wyników w każdym konkretnym przypadku oraz (iii) tych, którzy mają wyższą ogólną zdolność ekstrapolacji z przeszłości na przyszłość.

W opisywanym przypadku do roli ekspertów zaproszono grupę doświadczonych pracowników Katowice Airport zajmujących się bieżącą kontrolą bezpieczeństwa oraz ich przełożonych. Eksperci należą do dwóch pierwszych wymienionych wyżej grup. Z jednej strony, pracując bezpośrednio nad analizowanymi procesami, mają oni informacje o wszystkich czynnikach, które pozwalają im skutecznie prognozować efektywność kontroli bezpieczeństwa. Z drugiej strony mają szczegółową wiedzę na temat zachodzących procesów, ponieważ przeszli przez wszystkie szczeble pracy zawodowej w tej dziedzinie. Dzięki temu rozumieją prawa naturalne i zasady technologiczne rządzące wynikiem.

Baza wiedzy była tworzona na dwa sposoby. Jedna grupa ekspertów definiowała reguły poprzez ocenę wykrywalności na podstawie konkretnych wartości zmiennych wejściowych. Druga grupa dokonywała zagregowanej oceny ważności poszczególnych zmiennych wejściowych na skuteczność wykrywania przedmiotów zabronionych. W przypadku niektórych reguł tworzonych przez ekspertów z pierwszej grupy występowały pewne niejednoznaczności, a nawet sprzeczności, co jest naturalne przy tego rodzaju zadaniu. Dzięki posiadaniu wag poszczególnych zmiennych wejściowych, oszacowanych przez niezależną grupę ekspertów, możliwe było zastosowanie metody opisanej w (Skorupski, 2015) do weryfikacji i korekty konfliktowych reguł rozmytych. Fragment bazy wiedzy dotyczącej lokalnego modelu rozmytego *Wykrywalność* przedstawiono w Tabeli 8, natomiast postać funkcji przynależności przyjętych wartości zmiennej wyjściowej – na Rysunku 28.

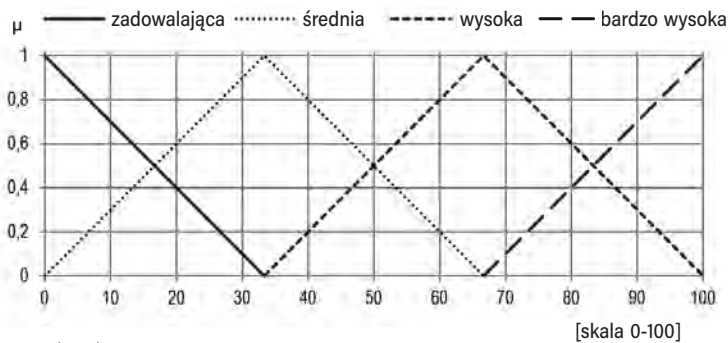
Tabela 8. Baza wiedzy lokalnego modelu rozmytego *Wykrywalność* (fragment)

Reguła	<i>Materiały</i>	<i>Powierzchnia wykrywania</i>	<i>Rozdzielczość wykrywania</i>	<i>Czułość</i>	<i>Wykrywalność</i>
7	<i>metale</i>	<i>mała</i>	<i>średnia</i>	<i>niska</i>	<i>zadowolająca</i>
19	<i>metale</i>	<i>mała</i>	<i>słaba</i>	<i>średnia</i>	<i>zadowolająca</i>
26	<i>metale i niemetale</i>	<i>mała</i>	<i>średnia</i>	<i>średnia</i>	<i>średnia</i>
33	<i>metale</i>	<i>średnia</i>	<i>duża</i>	<i>średnia</i>	<i>średnia</i>

Reguła	Materiały	Powierzchnia wykrywania	Rozdzielczość wykrywania	Czułość	Wykrywalność
40	metale i niemetale	średnia	słaba	wysoka	wysoka
47	metale	duża	średnia	wysoka	wysoka
49	metale i niemetale	duża	średnia	wysoka	bardzo wysoka
52	metale i niemetale	średnia	duża	wysoka	bardzo wysoka

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 28. Funkcje przynależności wartości wyjściowych zmiennych lingwistycznych *Wykrywalność* oraz *Skuteczność kontroli*



Źródło: opracowanie własne.

Zmienna Rozdzielczość wizualizacji

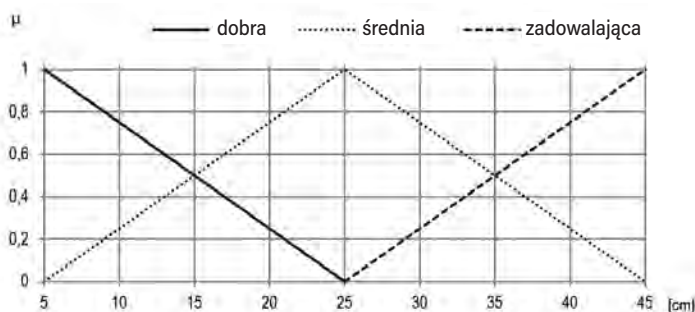
Oprócz zdolności wykrycia zabronionego przedmiotu, bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo jest wspomaganie możliwości fizycznego ujawnienia przedmiotu na ciele pasażera i jego usunięcie. Wszystkie detektory posiadają jakiś sposób wskazywania operatorowi kontroli bezpieczeństwa miejsca, w którym potencjalnie ukryty jest zabroniony przedmiot. Wskazania systemu wizualizacji są wykorzystywane podczas kontroli manualnej.

Do oceny jakości wspomaganie ze strony systemu wizualizacji wykorzystano zmienną lingwistyczną *Rozdzielczość wizualizacji* (x_v). Będziemy ją określać, podobnie jak zmienną *Rozdzielczość wykrywania*, na podstawie minimalnej wielkości prezentowanego OKB przedmiotu lub ujmując inaczej – minimalnej odległości pozwalającej na znalezienie na ciele pasażera dwóch przedmiotów ukrytych blisko siebie. Zmienna *Rozdzielczość wizualizacji* wykorzystuje te same sensory, jednak rzeczywista rozdzielczość wizualizacji zazwyczaj jest mniejsza niż rozdzielczość wykrywania, ponieważ:

- w bramkach WTMD sygnalizacja obejmuje kilka stref wykrywania, zaś
- w BS następuje utrata rozdzielczości na skutek prezentowania przedmiotu zabronionego na ekranie, który jest znacznie mniejszy niż obraz rzeczywisty.

W prezentowanym modelu zmienna lingwistyczna *Rozdzielczość wizualizacji* będzie przyjmowała jedną z trzech wartości – *dobra*, *średnia*, *zadowalająca*. Zbiory rozmyte reprezentujące poszczególne wartości lingwistyczne zostały przedstawione na Rysunku 29.

Rysunek 29. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej *Rozdzielczość wizualizacji*



Źródło: opracowanie własne.

Analiza sposobu przetwarzania informacji o wykrytych przedmiotach na informację o ich lokalizacji dostępną dla OKB pozwoliła na oszacowanie zakresu tych wartości. W przypadku bramek WTMD istnieje możliwość prezentowania lokalizacji przedmiotu zabronionego z dokładnością do pojedynczej strefy detekcji. Jednak doświadczenia praktyczne wskazują, że najlepsze efekty uzyskuje się wówczas, gdy liczba stref wizualizacji wynosi od 3 do 7, zaś najczęściej stosuje się 5 stref wizualizacji. W zależności od liczby stref wykrywania możemy przyjąć, że dla bramki o wysokości 200 cm przeciętna rozdzielczość wykrywania wynosi około 20–50 cm. Natomiast w przypadku BS, zakładając, że wizualizacja jest realizowana na monitorze o przekątnej 20 cali, a urządzenie ma około 70 cm szerokości, możemy oszacować rozdzielczość wizualizacji, w zależności od liczby detektorów, na około 8–20 cm. Oczywiście dla każdego detektora należy dokonać dokładnego obliczenia w zależności od jego parametrów technicznych.

4.5.3. Lokalny system wnioskowania rozmytego *Procedury*

W przypadku stosowania BS kontrola bezpieczeństwa sprowadza się do sprawdzenia pasażera za pomocą detektora i ewentualnej kontroli manualnej, jeśli urządzenie wskaże podejrzaną miejscami na jego ciele. Natomiast w przypadku stosowania

WTMD procedura kontroli przewiduje dodatkowe czynności nawet wówczas, gdy detektor nie wykaże u pasażera przedmiotu metalowego. Czynności te polegają na:

- wrywkowej kontroli manualnej, której celem jest wykrycie i ujawnienie niemetalowych przedmiotów zabronionych oraz
- dodatkowej kontroli z wykorzystaniem detektora śladowych ilości materiałów wybuchowych (ETD), której celem jest wykrycie ewentualnych materiałów wybuchowych znajdujących się na ciele pasażera.

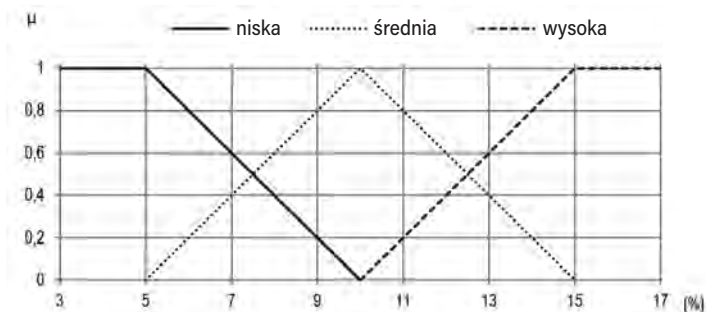
Biorąc powyższe pod uwagę, porównując skuteczność stanowiska kontroli wyposażonego w BS ze stanowiskiem wyposażonym w bramkę WTMD, w tym drugim przypadku konieczne jest uwzględnienie wspomnianych czynności dodatkowych. Do tego celu wykorzystamy dodatkowo system wnioskowania rozmytego *Procedury*, którego wyjście oznaczmy y_p . System ten ma dwie lingwistyczne zmienne wejściowe – *Częstość kontroli ETD* (x_e) oraz *Częstość kontroli manualnych* (x_c).

Zmienne wejściowe Częstość kontroli ETD (x_e) oraz Częstość kontroli manualnych (x_c)

Jak wspomniano, po zakończeniu kontroli z wykorzystaniem bramki WTMD stosuje się wrywkowe kontrole z wykorzystaniem detektora śladowych ilości materiałów wybuchowych (ETD) oraz wrywkowe kontrole manualne całego ciała. Liczba tych kontroli jest niejawna i ustalana indywidualnie dla każdego lotniska, z uwzględnieniem warunków lokalnych oraz ogólnego poziomu zagrożenia terrorystycznego.

W prezentowanym modelu zmienne lingwistyczne *Częstość kontroli ETD* oraz *Częstość kontroli manualnych* będą przyjmowały jedną z trzech wartości – *niska*, *średnia*, *wysoka*. Zbiory rozmyte reprezentujące poszczególne wartości lingwistyczne zostały przedstawione na Rysunku 30.

Rysunek 30. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej *Częstość kontroli ETD* oraz *Częstość kontroli manualnych*



Źródło: opracowanie własne.

Zmienna wyjściowa *Procedury*

Zmienna wyjściowa *Procedury* jest określana na podstawie lokalnego systemu wnioskowania rozmytego o dwóch wejściach omówionych powyżej i jednym wyjściu. Podobnie jak poprzednio do stworzenia bazy wiedzy wykorzystano opinie dwóch grup ekspertów. Cały proces tworzenia, weryfikacji i korekty bazy wiedzy przebiegał tak samo, jak opisano w odniesieniu do zmiennej *Wykrywalność*.

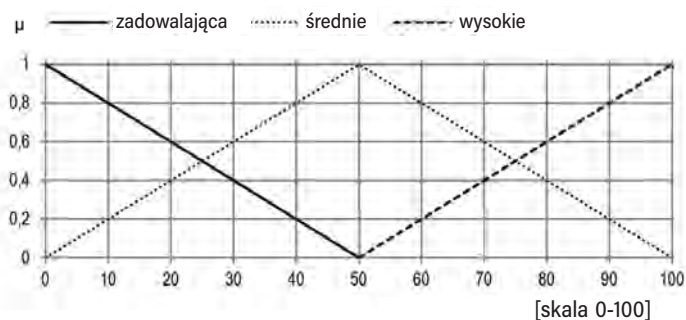
Fragment bazy wiedzy dotyczącej lokalnego modelu rozmytego *Procedury* przedstawiony jest w Tabeli 9. Natomiast postać funkcji przynależności przyjętych wartości zmiennej wyjściowej została przedstawiona na Rysunku 31.

Tabela 9. Baza wiedzy lokalnego modelu rozmytego *Procedury* (fragment)

Reguła	Częstość kontroli ETD	Częstość kontroli manualnych	Procedury
2	<i>średnia</i>	<i>niska</i>	<i>zadowalająca</i>
3	<i>wysoka</i>	<i>niska</i>	<i>średnia</i>
4	<i>niska</i>	<i>średnia</i>	<i>zadowalająca</i>
6	<i>wysoka</i>	<i>średnia</i>	<i>wysoka</i>
7	<i>niska</i>	<i>wysoka</i>	<i>średnia</i>
9	<i>wysoka</i>	<i>wysoka</i>	<i>wysoka</i>

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 31. Funkcje przynależności wartości wyjściowej zmiennej lingwistycznej *Procedury*



Źródło: opracowanie własne.

4.5.4. Baza wiedzy i postać zmiennej wyjściowej *Skuteczność kontroli*

Przyjęte zasady tworzenia bazy wiedzy we wszystkich lokalnych modelach wnioskowania rozmytego zostały opisane w części dotyczącej zmiennej wyjściowej *Wykrywalność*. Analogiczne podejście przyjęto w odniesieniu do wyjściowej zmiennej lingwistycznej *Skuteczność kontroli*. Poniżej przedstawiono tylko

fragment bazy wiedzy (Tabela 10). Natomiast postać funkcji przynależności przyjętych wartości zmiennej wyjściowej jest taka sama, jak dla zmiennej *Wykrywalność* i jest przedstawiona na Rysunku 28.

Tabela 10. Baza wiedzy modelu rozmytego *Skuteczność kontroli* (fragment)

Reguła	Wykrywalność	Rozdzielczość wizualizacji	Procedury	Skuteczność kontroli
5	<i>zadowalająca</i>	<i>średnia</i>	<i>zadowalające</i>	<i>zadowalająca</i>
13	<i>zadowalająca</i>	<i>zadowalająca</i>	<i>średnie</i>	<i>zadowalająca</i>
14	<i>średnia</i>	<i>zadowalająca</i>	<i>średnie</i>	<i>średnia</i>
21	<i>zadowalająca</i>	<i>dobra</i>	<i>średnie</i>	<i>średnia</i>
22	<i>średnia</i>	<i>dobra</i>	<i>średnie</i>	<i>wysoka</i>
27	<i>wysoka</i>	<i>zadowalająca</i>	<i>wysokie</i>	<i>wysoka</i>
32	<i>bardzo wysoka</i>	<i>średnia</i>	<i>wysokie</i>	<i>bardzo wysoka</i>
35	<i>wysoka</i>	<i>dobra</i>	<i>wysokie</i>	<i>bardzo wysoka</i>

Źródło: opracowanie własne.

4.5.5. Ocena skuteczności bramki WTMD i body skanera w kontroli bezpieczeństwa w warunkach nominalnych – przepływ standardowy

System wnioskowania rozmytego został zastosowany do oceny skuteczności tych samych urządzeń i w takiej samej konfiguracji, dla których wcześniej wyznaczono przepustowość. Ponieważ mówimy o konkretnych urządzeniach dostępnych na rynku, dla zachowania bezstronności nie podajemy nazw producentów i modeli urządzeń, a poprzestajemy na określeniach BS oraz WTMD. W Tabeli 11 przedstawiono konkretne wartości wejściowe dla obu urządzeń w wariacie podstawowym.

Tabela 11. Parametry wejściowe wykorzystane do oceny skuteczności BS i WTMD

Parametr	BS	WTMD
<i>Materiały</i>	metale i niemetale	metale
<i>Powierzchnia wykrywania</i>	95%	100%
<i>Rozdzielczość wykrywania</i>	4,7 cm	10 cm
<i>Czułość</i>	~ 0%	25%
<i>Rozdzielczość wizualizacji</i>	19,4 cm	30 cm
<i>Częstość kontroli ETD</i>	0%	10%
<i>Częstość kontroli manualnych</i>	0%	5,3%

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonego zestawu danych przeprowadzono ocenę skuteczności obu urządzeń, wykorzystując wcześniej opisany model rozmyty. Wyniki ogólne, jak i dla poszczególnych modeli lokalnych przedstawiono w Tabeli 12.

Tabela 12. Ocena skuteczności BS i WTMD z wykorzystaniem systemu wnioskowania rozmytego

Zmienna	BS	WTMD
Wykrywalność [0-100]	67	33
Rozdzielczość wizualizacji [cm]	19,4	30
Procedury [0-100]	0	11,3
Skuteczność kontroli [0-100]	44	32

Źródło: opracowanie własne.

W celu sprawdzenia poprawności działania wykonanego narzędzia uzyskane wyniki porównane zostały z prostą ankietą przeprowadzoną wśród ekspertów – operatorów kontroli bezpieczeństwa, w której poproszono o ocenę urządzeń w skali ocen szkolnych [1–6] na podstawie doświadczenia uzyskanego podczas ich użytkowania. W tej skali 1 oznacza ocenę najniższą, niedostateczną, zaś 6 – ocenę najwyższą, doskonałą. Body skaner uzyskał średnią ocenę 4,35, natomiast bramka WTMD została oceniona na poziomie 3,85. Po przeliczeniu oceny z systemu wnioskowania rozmytego na skalę wykorzystaną przez ekspertów uzyskano dla BS ocenę 4,2, zaś dla WTMD ocenę 3,65. Wyniki uzyskane z tej ankiety są zbliżone do wyników uzyskanych z modelu rozmytego. Różnica wynosi od 3,5% do 5,5%. Na tej podstawie można stwierdzić, że wiedza ekspercka, stanowiąca podstawę do określenia reguł rozmytych, została dobrze odzwierciedlona, a sam model został zrealizowany poprawnie.

4.6. Eksperymenty symulacyjne

Opracowane modele pozwoliły na wyznaczenie przepustowości i skuteczności stanowiska kontroli w warunkach typowych oraz na przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych dla różnych przypadków niestandardowych. Zdefiniowano zatem następujące scenariusze badawcze:

- Wariant nominalny, w którym proces obsługi jest zgodny z rzeczywistymi danymi zebranymi w ramach pomiarów,
- Scenariusz 1, w którym badamy sytuację w porze zimowej,
- Scenariusz 2, w którym badamy sytuację wyższego poziomu zagrożenia terrorystycznego,

- Scenariusz 3, w którym badamy sytuację podwyższonego zagrożenia epidemicznego,
- Scenariusz 4, w którym badamy liczbę i płęć OKB obsługujących jedno urządzenie.

4.6.1. Scenariusz 1 – okres zimowy

Analizowane lotnisko KTW jest położone w umiarkowanej strefie klimatycznej, co jest istotne w procesie obsługi pasażerów. Zmienia się bowiem ubiór, który jest dostosowany do panujących warunków atmosferycznych. O ile sam sposób prowadzenia kontroli bezpieczeństwa nie ulega zmianie w okresie zimowym, to rodzaj ubioru ma znaczenie. W szczególności jest ta zależność widoczna w noszonym przez pasażerów obuwiu, które z racji dodatkowych wzmocnień metalowych częściej wzbudza alarm niż w porze letniej, kiedy pasażer z reguły porusza się w lekkim, sportowym obuwiu. Wymusza to konieczność dokładniejszego przygotowania pasażera do kontroli, a tym samym całkowity czas obsługi pojedynczego pasażera w porze zimowej może wydłużyć się nawet o 30–40%. Oczywiście zdecydowanie najwięcej czasu poświęca się na przygotowanie pasażera do kontroli, co jest poza obszarem analizy. Jednak w czasie operacji kontroli również występują różnice.

Z powodów, o których mowa wyżej, zwiększa się np. prawdopodobieństwo wystąpienia alarmu przy przejściu przez bramkę WTMD. Obserwacje praktyczne pozwalają oszacować, że różnica ta wynosi około 20% przy pierwszym przejściu przez bramkę i około 30–40% przy ewentualnym drugim przejściu. W okresie zimowym wzrasta zatem liczba kontroli manualnych. Z uwagi na fakt, iż w sezonie zimowym pasażer z reguły ma na sobie więcej warstw ubrania, kontrola manualna jest zazwyczaj o około 20% dłuższa niż w wariancie podstawowym.

W przypadku stosowania body skanera również mamy do czynienia ze zwiększonym prawdopodobieństwem wzbudzenia alarmu. Szacuje się, że liczba tych alarmów jest większa o około 20% w stosunku do pomiarów w wariancie podstawowym. Jednocześnie, z uwagi na fakt, że technologia body skanera pozwala lepiej zlokalizować miejsce kontroli, jej czas nie ulega znaczącej zmianie. Jednocześnie, mając na uwadze algorytm selekcji pasażerów do pełnej kontroli manualnej, spodziewać się należy zwiększenia jej częstości o około 10%. Tu również, z powodów jak poprzednio, czas jej wykonania nie ulega znaczącej zmianie.

Analiza przepustowości – WTMD

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem bramki WTMD dla Scenariusza 1 zawiera Tabela 13.

Tabela 13. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 1

Parametr	Nominalny	Scenariusz 1
<i>Częstość alarmów przy pierwszym przejściu przez bramkę</i>	0,345	0,414
<i>Częstość alarmów przy powtórnyim przejściu przez bramkę</i>	0,28	0,378
<i>Czas kontroli manualnej</i>	<i>t</i>	<i>1,2 t</i>

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w WTMD w warunkach zimowych (Scenariusz 1) wyniosła 231 pasażerów na godzinę, co stanowi 81% przepustowości wariantu nominalnego.

Analiza przepustowości – body skaner

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 1 zawiera Tabela 14.

Tabela 14. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 1

Parametr	Nominalny	Scenariusz 1
<i>Częstość alarmów</i>	0,36	0,432
<i>Częstość selekcji do pełnej kontroli manualnej</i>	0,194	0,213

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w body skaner w warunkach zimowych (Scenariusz 1) wyniosła 232 pasażerów na godzinę, co stanowi 92% w stosunku do przepustowości wariantu nominalnego.

4.6.2. Scenariusz 2 – podwyższone zagrożenie terrorystyczne

Zasadniczym celem kontroli bezpieczeństwa w portach lotniczych jest przeciwdziałanie aktom bezprawnej ingerencji, które często są związane z działalnością różnego rodzaju grup terrorystycznych. Ustalając operacyjne normy stosowania kontroli bezpieczeństwa, przyjmuje się pewne średnie prawdopodobieństwo dokonania aktu terrorystycznego. Jednak występują sytuacje szczególne, kiedy na podstawie różnego rodzaju informacji szacuje się, że prawdopodobieństwo to wzrasta. Konieczna jest wówczas zmiana parametrów pracy systemu lub nawet wprowadzenie dodatkowych procedur, adekwatnie do występującego zagrożenia. Działania te mają wpływ zarówno na skuteczność kontroli, jak i na przepustowość stanowiska.

W Eksperymentcie 2 założono, że w ramach wspomnianych działań nastąpi zwiększenie czułości bramki WTDM do wartości maksymalnej, co pozwala na wykrywanie przedmiotów metalowych o mniejszej niż standardowo masie. Rośnie wówczas prawdopodobieństwo wzbudzenia alarmu bramki – proporcjonalnie do zwiększenia czułości urządzenia. Z obserwacji wynika, że częstość wzbudzania alarmu dochodzi w takim przypadku do 60%. Z uwagi na to, że WTMD wykrywa wyłącznie metale, konieczne jest także wykonywanie większej liczby kontroli manualnych. Przyjęto zatem, że każdy alarm WTMD będzie weryfikowany przez kontrolę manualną, bez możliwości powtórnego przejścia przez bramkę. Zatem częstość kontroli manualnych będzie równa częstości alarmów. Zwiększenie ryzyka wystąpienia sytuacji o znamionach terrorystycznych powoduje jednocześnie większą skrupulatność kontroli przez OKB. Przekłada się to na czas wykonywania kontroli manualnej; założono, że będzie ona trwać nawet o 30% dłużej niż standardowa sytuacja.

W przypadku body skanerów (w dostępnych urządzeniach) nie było możliwości zwiększenia ich czułości. Jednak wspomniana wyżej świadomość realnego zagrożenia sprawia, że czas kontroli kierunkowej i pełnej będzie większy, niż podczas standardowej kontroli bezpieczeństwa. Oszacowano, że wzrost ten wynosi około 20%. Jednocześnie ankietowani OKB deklarowali gotowość częstszego wykonywania pełnej kontroli manualnej w przypadku, kiedy normalnie wykonuje się kontrolę kierunkową. Szacuje się, że około 15–20% kontroli manualnych zostanie przeprowadzonych w trybie kontroli pełnej zamiast kierunkowej.

Analiza przepustowości – WTMD

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem bramki WTMD dla Scenariusza 2 zawiera Tabela 15.

Tabela 15. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 2

Parametr	Nominalny	Scenariusz 2
<i>Częstość alarmów przy pierwszym przejściu przez bramkę</i>	0,345	0,6
<i>Częstość powtórnego przejścia przez bramkę</i>	0,362	0,0
<i>Częstość kontroli manualnych po pierwszym alarmie</i>	0,628	1,0
<i>Czas kontroli manualnej</i>	<i>t</i>	1,3 <i>t</i>

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w WTMD w warunkach zwiększonego zagrożenia terrorystycznego (Scenariusz 2) wyniosła 174 pasażerów na godzinę, co stanowi 61% przepustowości wariantu nominalnego.

Analiza przepustowości – body skaner

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem body skanera dla tego scenariusza zawiera Tabela 16.

Tabela 16. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 2

Parametr	Nominalny	Scenariusz 2
<i>Czas pełnej kontroli manualnej</i>	t_1	1,2 t_1
<i>Czas kierunkowej kontroli manualnej</i>	t_2	1,2 t_2
<i>Częstość selekcji do kierunkowej kontroli manualnej</i>	0,806	0,626
<i>Częstość selekcji do pełnej kontroli manualnej</i>	0,194	0,374

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w body skaner w warunkach zwiększonego zagrożenia terrorystycznego (Scenariusz 2) wyniosła 208 pasażerów na godzinę, co stanowi około 83% przepustowości wariantu nominalnego.

Analiza skuteczności

Podsumowanie zmian dotyczących systemu wnioskowania rozmytego do oceny skuteczności kontroli z wykorzystaniem zarówno WTMD, jak i body skanera dla Scenariusza 2 zawiera Tabela 17.

Tabela 17. Parametry wejściowe do oceny skuteczności BS i WTMD w Scenariuszu 2

Parametr	BS (nominalny)	BS (Scenariusz 2)	WTMD (nominalny)	WTMD (Scenariusz 2)
<i>Czułość</i>	~ 0%	~0%	25%	50%
<i>Częstość kontroli manualnych</i>	0 %	18%	5,3%	20%

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów skuteczność kontroli w warunkach zwiększonego zagrożenia terrorystycznego (Scenariusz 2), wyznaczona z wykorzystaniem systemu wnioskowania rozmytego, wyniosła 57 dla stanowiska wyposażonego w WTMD oraz 67 dla stanowiska wyposażonego w body skaner (w skali [0–100]). Stanowi to odpowiednio 178% oraz 152% w stosunku do wariantu nominalnego.

4.6.3. Scenariusz 3 – zagrożenie epidemiczne

Transport lotniczy jest niezwykle wrażliwy na różnego rodzaju zewnętrzne czynniki wpływające na możliwość przemieszczania się osób. Jak pokazuje doświadczenie ostatniej pandemii COVID-19, ryzyko rozprzestrzeniania się choroby zakaźnej w skali globalnej może spowodować praktycznie całkowity spadek liczby przewozów na świecie. Korzystając z opracowanych modeli, dokonamy porównania obu analizowanych technologii kontroli osób w kontekście dodatkowych działań, niezbędnych dla ograniczania istniejącego zagrożenia. Do działań tych należy pomiar temperatury ciała pasażerów odlatujących czy też konieczność zachowania wymaganego dystansu pomiędzy pasażerami. Obostrzenia tego typu wpływają na organizację pracy w punkcie kontroli bezpieczeństwa, co z kolei przekłada się bezpośrednio na jego przepustowość.

Pomiar temperatury może być realizowany w różny sposób. W analizowanym porcie lotniczym wdrożono bramowe pirometry, jednak pomiar odbywa się poza obszarem analizy, zatem nie został tutaj uwzględniony. Natomiast konieczność zachowania dystansu 2 m powoduje wydłużenie czasu przejścia przez WTMD o około 2 s. W celu minimalizacji kontaktu między pasażerem a OKB stosuje się dwa działania. Z jednej strony zwiększa się o 40% częstość powtórnego przejścia przez WTMD przez pasażerów wzbudzających alarm, zamiast natychmiastowej kontroli manualnej. Z drugiej strony zamiast pełnej kontroli manualnej, wykonuje się kontrolę nakierowaną tylko na te obszary ciała, które wskazuje urządzenie. W związku z tym czas kontroli jest o około 50% krótszy. OKB dokonuje pełnej kontroli manualnej tylko w przypadku uzasadnionego podejrzenia, opartego na analizie zachowania pasażera, że może on przenosić przedmiot zabroniony. W scenariuszu zbadana zostanie sytuacja – ma to miejsce w około 10% przypadków – kiedy wykonywana jest kontrola manualna. Taka zmiana ma oczywiście wpływ na skuteczność kontroli. W celu zbadania skali tego wpływu przyjęte zostało założenie, że brak pełnej kontroli manualnej może być reprezentowany przez zmniejszenie wartości zmiennej *Powierzchnia wykrywania* w lokalnym modelu *Wykrywalność*. Dodatkowo w sytuacji zagrożenia epidemicznego zastępuje się wrywkowe kontrole manualne osób, które nie wzbudziły alarmu, dodatkowymi kontrolami z wykorzystaniem urządzenia ETD. Zostanie to uwzględnione w lokalnym modelu *Procedury*.

W przypadku kontroli bezpieczeństwa wykonywanej z wykorzystaniem body skanera również uwzględnimy wydłużenie czasu kontroli wynikające z konieczności zachowania dystansu między pasażerami. Podobnie jak w przypadku kontroli z wykorzystaniem WTMD ulegnie również zmianie proporcja pomiędzy kontrolami kierunkowymi i pełnymi. W scenariuszu zbadano sytuację, kiedy jedynie około 5% kontroli manualnych będą stanowiły kontrole pełne.

Jednocześnie w procesie kontroli pasażera z wykorzystaniem zarówno WTMD, jak i BS można by uwzględnić sytuacje, kiedy u pasażera zostanie zdiagnozowana podwyższona temperatura. Wdrażane są wówczas specjalne procedury sanitarne, polegające na separacji pasażera i dezynfekcji stanowiska. Szacuje się, że czas wyłączenia PKB z użytkowania wynosić może od 15 do 60 minut.

Analiza przepustowości – WTMD

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem bramki WTMD dla Scenariusza 3 zawiera Tabela 18.

Tabela 18. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 3

Parametr	Nominalny	Scenariusz 3
<i>Czas przejścia przez bramkę</i>	t_1	$t_1 + 2$
<i>Czas kontroli manualnej</i>	t_2	$0,5 t_2$
<i>Częstość powtórnego przejścia przez bramkę</i>	0,362	0,762
<i>Częstość pełnych kontroli manualnych</i>	n.d.	10%

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w WTMD w warunkach zagrożenia epidemicznego (Scenariusz 3) wyniosła 272 pasażerów na godzinę, co stanowi 95% przepustowości wariantu nominalnego.

Analiza przepustowości – body skaner

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem body skanera dla tego scenariusza zawiera Tabela 19.

Tabela 19. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 3

Parametr	Nominalny	Scenariusz 3
<i>Czas przejścia przez bramkę</i>	t	$t + 2$
<i>Częstość selekcji do pełnej kontroli manualnej</i>	0,194	0,05

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w body skaner w warunkach zagrożenia epidemicznego

(Scenariusz 3) wyniosła 233 pasażerów na godzinę, co stanowi 93% przepustowości wariantu nominalnego.

Analiza skuteczności

Podsumowanie zmian dotyczących systemu wnioskowania rozmytego do oceny skuteczności kontroli z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 3 zawiera Tabela 20. Skuteczność wykrywania dla body skanera pozostaje bez zmian.

Tabela 20. Parametry wejściowe do oceny skuteczności WTMD w Scenariuszu 3

Parametr	WTMD (nominalny)	WTMD (Scenariusz 3)
<i>Powierzchnia wykrywania</i>	100%	90%
<i>Częstość kontroli manualnych</i>	5,3%	0%
<i>Częstość kontroli ETD</i>	10%	15,3%

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów skuteczność kontroli w warunkach zagrożenia epidemicznego (Scenariusz 3) wyznaczona z wykorzystaniem systemu wnioskowania rozmytego wyniosła 25 dla stanowiska wyposażonego w WTMD (w skali [0–100]). Stanowi to 78% w stosunku do wariantu nominalnego.

4.6.4. Scenariusz 4 – zmiany w obsadzie PKB

Zgodnie z regulacjami prawnymi (KPOLC) w PKB znajduje się minimum trzech operatorów wykonujących zadania związane z kontrolą bezpieczeństwa. Jedna osoba kontroluje bagaż, druga pasażerów, a trzecia przygotowuje pasażerów do kontroli. W takiej konfiguracji ewentualne zakłócenia w ciągłości wykonywanej kontroli najczęściej mogą wystąpić w dwóch przypadkach:

- braku osoby tej samej płci do wykonania kontroli manualnej,
- wstrzymania ciągłości kontroli pasażerów ze względu na konieczność wykonania kontroli manualnej pasażera.

Wstrzymanie ciągłości kontroli bezpieczeństwa pasażerów z powodu braku w PKB osoby tej samej płci jest dość częstym zjawiskiem. Z przyczyn obiektywnych kontrola manualna powinna zostać wykonana przez osobę tej samej płci. W przypadku braku odpowiedniej osoby następuje wstrzymanie na krótką chwilę ciągłości kontroli i zmiana operatorów pomiędzy PKB. W praktyce zajmuje to od 5 do 15 s. Rozwiązaniem tego problemu jest zapewnienie stałej obsady kobiety i mężczyzny wykonujących obowiązki kontroli pasażerów. Rozpatrzmy to jako Scenariusz 4. Dodatkowo, w przypadku niezgodności płci, OKB może częściej

podejmować decyzję o ponownym przejściu przez bramkę, licząc, że przy drugim przejściu nie wystąpi alarm i nie będzie konieczności zamiany OKB w celu dokonania kontroli. Przy podwójnej obsadzie nie będzie to konieczne i będzie można od razu przystąpić do kontroli manualnej pasażera wzbudzającego alarm. W tym scenariuszu dokonamy obliczeń, przyjmując, że liczba ponownych przejść przez bramkę zmniejszy się o 20%.

Dodatkowym aspektem podwójnej obsady stanowiska kontroli osób jest rozwiązanie drugiego z wymienionych problemów, polegającego na przestoju PKB na czas wykonywania kontroli manualnej. W przypadku rozważanym w tym scenariuszu jeden z OKB będzie wykonywał w stosunku do pasażera (tej samej płci) kontrolę manualną w przeznaczonym do tego miejscu, zlokalizowanym bezpośrednio w pobliżu PKB, podczas gdy kolejny pasażer będzie poddawany kontroli bezpieczeństwa z wykorzystaniem WTMD.

W przypadku stanowiska wyposażonego w body skaner występują dokładnie te same problemy związane z koniecznością wykonania kontroli manualnej przez osobę tej samej płci oraz z blokowaniem stanowiska na czas kontroli manualnej. Zatem w tym przypadku będziemy mieli do czynienia z takimi samymi zmianami parametrów systemu, co pozwoli porównać skutki analizowanej zmiany w obsadzie PKB dla obu typów urządzeń.

Analiza przepustowości – WTMD

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem bramki WTMD dla Scenariusza 4 zawiera Tabela 21.

Tabela 21. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 4

Parametr	Nominalny	Scenariusz 4
<i>Czas kontroli manualnej</i>	t	$t - 5$
<i>Częstość powtórnego przejścia przez bramkę</i>	0,362	0,162

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w WTMD przy obsadzie dwóch osób różnej płci do kontroli pasażerów (Scenariusz 4) wyniosła 574 pasażerów na godzinę, co daje 100% przyrostu w stosunku do przepustowości wariantu nominalnego.

Analiza przepustowości – body skaner

Podsumowanie zmian dotyczących modelu kontroli z wykorzystaniem body skanera dla tego scenariusza zawiera Tabela 22.

Tabela 22. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 4

Parametr	Nominalny	Scenariusz 4
<i>Czas pełnej kontroli manualnej</i>	t_1	$t_1 - 5$
<i>Czas kierunkowej kontroli manualnej</i>	t_2	$t_2 - 5$

Źródło: opracowanie własne.

Dla tak określonych parametrów wyznaczona symulacyjnie przepustowość stanowiska wyposażonego w body skaner przy obsadzie dwóch osób różnej płci do kontroli pasażerów (Scenariusz 4) wyniosła 392 pasażerów na godzinę, co daje 56% przyrostu w stosunku do przepustowości wariantu nominalnego.

4.7. Dyskusja wyników

Opracowane modele do badania przepustowości i skuteczności kontroli w punktach kontroli bezpieczeństwa pozwalają na przeprowadzenie szerokiej gamy eksperymentów symulacyjnych. Cztery z nich zostały wybrane na podstawie oceny problemów operacyjnych występujących w praktycznym funkcjonowaniu analizowanego portu lotniczego KTW. Zestawienie uzyskanych wyników przedstawiono w Tabeli 23.

Tabela 23. Zestawienie wyników eksperymentów symulacyjnych

Analizowany przypadek	WTMD		Body skaner	
	Przepustowość [pax/h]	Skuteczność skala [1-100]	Przepustowość [pax/h]	Skuteczność skala [1-100]
<i>Warunki nominalne</i>	287	32	251	44
<i>Scenariusz 1</i>	231	32	232	44
<i>Scenariusz 2</i>	174	57	208	67
<i>Scenariusz 3</i>	272	25	233	44
<i>Scenariusz 4</i>	574	32	392	44

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki dla przypadku nominalnego pokazują doskonale istniejący dylemat pomiędzy zapewnieniem większej przepustowości a większej skuteczności PKB. Jest dość oczywiste, że długotrwała i szczegółowa kontrola zapewnia większą skuteczność wykrywania materiałów zabronionych, jednak kosztem przepustowości. Eksperyment pokazuje tę zależność w sposób ilościowy. Przepustowość PKB

w warunkach nominalnych jest o 14% większa, jeśli do kontroli wykorzystujemy WTMD. Jednocześnie skuteczność kontroli wykonywanej z użyciem body skanera jest o 37% większa (w przyjętej skali). Wartości te mogą być pomocne przy podejmowaniu decyzji o zastosowaniu jednej lub drugiej techniki kontroli. Na ostateczną decyzję będą jednak wpływać także inne elementy, takie jak wielkość ruchu czy środki dostępne na inwestycje.

W standardowej sytuacji wydaje się, że dla lotniska typu KTW korzystniejsza jest realizacja kontroli osób za pomocą dostępnych wcześniej urządzeń WTMD. Pozwala na osiągnięcie większej przepustowości PKB przy dobrym poziomie skuteczności kontroli, zgodnym z przepisami międzynarodowymi. Jednocześnie nie wymaga nakładów inwestycyjnych związanych z zakupem body skanerów.

W wariancie zdarzeń opisanym w Scenariuszu 1 badana była wrażliwość przepustowości i skuteczności kontroli bezpieczeństwa osób na zmiany pory roku. Jako najbardziej kontrastującą do wartości nominalnych wybrano porę zimową, kiedy pasażerowie mają na sobie więcej warstw odzieży, co potencjalnie utrudnia proces kontroli wykonywanej przez OKB. Wyniki uzyskane dla tej sytuacji pokazały, że przepustowość stanowiska w obu przypadkach spada, ale dla WTMD w większym stopniu, co powoduje, że praktycznie wyrównuje się dla obu wariantów. Jednocześnie poziom skuteczności w obu nie ulega zmianie w stosunku do warunków nominalnych.

Wynik uzyskany dla Scenariusza 1 stanowi cenną wskazówkę przy operacyjnym planowaniu pracy PKB. Jeśli w porcie lotniczym występują stanowiska wyposażone w WTMD i BS, wówczas w okresie letnim korzystne jest kierowanie większego strumienia pasażerów do stanowiska wyposażonego w WTMD, zaś w okresie zimowym do stanowiska wyposażonego w BS.

Scenariusz 2 dotyczył możliwości wzrostu zagrożenia terrorystycznego na lotnisku. Standardowym działaniem w takiej sytuacji jest wdrożenie dodatkowych czynności kontrolnych lub zintensyfikowanie częstości działań na co dzień wykonywanych sporadycznie. Uzyskane wyniki pokazują, że podejmowane wówczas kroki przynoszą oczekiwane efekty, niezależnie od wykorzystywanej technologii – wzrost skuteczności kontroli oraz zmniejszenie przepustowości stanowiska. Dzięki zastosowanym modelom otrzymujemy porównanie skali tych zjawisk w sposób ilościowy. Wyraźnie widać, że zmniejsza się różnica między skutecznością obu urządzeń, jednak nadal na korzyść BS. Jednocześnie przepustowość WTMD spada zdecydowanie bardziej niż przepustowość BS, co powoduje, że w tym scenariuszu BS ma oba parametry lepsze.

Uzyskane wyniki mają bardzo praktyczny charakter. Pokazują bowiem, że w sytuacji zwiększonego zagrożenia terrorystycznego zdecydowanie korzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie PKB z body skanerem. Może to być ważna

przesłanka przy podejmowaniu decyzji przez służby operacyjnego zarządzania bezpieczeństwem.

Trzeci analizowany scenariusz dotyczył bardzo aktualnego problemu, jakim jest zagrożenie epidemiczne. Stan zagrożenia epidemicznego w 2020 roku związany z COVID-19 bardzo wyraźnie pokazał jego negatywny wpływ na światowy system transportowy, szczególnie na transport lotniczy. Newralgicznymi punktami są lotniska, które z uwagi na swój charakter mogą być miejscami, gdzie dochodzi do transmisji wirusa. Z tego też powodu wprowadzane są znaczące ograniczenia, minimalizujące bezpośredni kontakt pasażera z personelem lotniska. Takie ograniczenia widoczne są również podczas kontroli bezpieczeństwa pasażerów.

Analiza wyników eksperymentu dla dwóch omawianych metod kontroli osób pokazuje niewielki (około 5–7%) spadek przepustowości PKB. Istotną różnicę zaobserwowano przy porównaniu skuteczności kontroli za pomocą obu urządzeń. W przypadku body skanera nie stwierdzono zmian w stosunku do wartości nominalnej. Wyraźny (około 20%) spadek oceny skuteczności kontroli można jednak zauważyć, gdy stosowane są bramki WTMD. W przypadku tej metody kontroli częstszy jest bezpośredni kontakt pasażera z operatorem kontroli bezpieczeństwa. Wdrażane w takiej sytuacji metody ochrony personelu przed zarażeniem wirusem mogą spowodować, że nie wszystkie elementy kontroli będą wykonane z taką samą skutecznością jak w standardowych warunkach. Należy jednak podkreślić, że nawet ten obniżony poziom skuteczności jest nadal zgodny z międzynarodowymi przepisami dotyczącymi ochrony przed aktem bezprawnej ingerencji.

Wyniki uzyskane w Scenariuszu 3 pozwalają stwierdzić, że w przypadku zagrożenia epidemicznego lepszym wyborem będzie stosowanie body skanerów. W tych warunkach następuje wyraźne zmniejszenie liczby operacji lotniczych, a tym samym spadek liczby obsługiwanych pasażerów. Sprawia to, że kwestia przepustowości PKB będzie drugorzędna w stosunku do skuteczności kontroli i ochrony personelu przed ewentualnym kontaktem z zarażonym pasażerem.

Scenariusze 1–3 dotyczyły zmian w otoczeniu systemu kontroli, które mogą wpływać negatywnie na jego przepustowość i skuteczność. Scenariusz 4 natomiast dotyczył działań modernizacyjnych możliwych do podjęcia w warunkach nominalnych. Rozważono kwestię wpływu zmian w obsadzie personalnej punktu kontroli na jego przepustowość i skuteczność. W szczególności badanie dotyczyło bardzo często w praktyce występującego braku OKB tej samej płci co pasażer w bezpośredniej bliskości miejsca kontroli. Wyniki eksperymentu symulacyjnego pokazują, że niezależnie od wybranej metody, zwiększenie obsady PKB o jedną osobę i zapewnienie, że na stanowisku będą pracowały osoby obu płci, powoduje znaczny przyrost przepustowości PKB – o 100% dla WTMD i ponad 50% dla body skanera.

Wyniki uzyskane w ramach Scenariusza 4 pozwalają sformułować istotny wniosek o charakterze praktycznym. Wdrożenie proponowanych tam zmian organizacyjnych powiększa przewagę WTMD nad body skanerem w zakresie przepustowości, jednocześnie bez zmiany skuteczności kontroli. Może więc stanowić to dla zarządzającego lotniskiem alternatywę dla znacznie kosztowniejszych rozwiązań polegających na rozbudowie infrastruktury i zakupie dodatkowego sprzętu do kontroli.

5. Wielokryterialna grupowa ocena wariantów modernizacji systemu kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym

Decyzje modernizacyjne dotyczące systemu kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego (HBSS) w porcie lotniczym wymagają uwzględnienia wielu kryteriów oceny rozważanych wariantów działania. Kryteria te są zarówno obiektywne – dają się precyzyjnie wyrazić liczbowo, jak i subiektywne – wymagają oceny opisowej, dokonywanej przez ekspertów. W tej części pracy dokonano wielokryterialnej oceny wariantów modernizacji systemu HBSS, z uwzględnieniem różnych punktów widzenia ekspertów oraz kontekstu podejmowanych decyzji. Ze względu na występowanie zarówno kryteriów opisywanych za pomocą zmiennych lingwistycznych, jak i zależnych od złożonych procesów losowych, wykorzystano zarówno metody wnioskowania rozmytego, jak i metody symulacyjne oparte o modele mikroskalowe. Opracowaną metodę zaimplementowano do oceny wariantów modernizacji Międzynarodowego Portu Lotniczego Katowice. W przypadku braku założeń co do możliwości zmiany otoczenia decyzyjnego, najwyższą ocenę grupową uzyskał wariant modernizacji polegający na zmniejszeniu liczby poziomów kontroli bagażu, z jednoczesnym zwiększeniem liczby osób dokonujących kontroli manualnej. W przypadku uwzględnienia takich założeń preferowany grupowo wariant ulega zmianie. Na przykład, dla rozważanego scenariusza polegającego na znaczącym wzroście wielkości obsługiwanego ruchu, najkorzystniejszy staje się wariant polegający na zdublowaniu urządzeń rentgenowskich na poziomie kontroli automatycznej. Zmiana postaci relacji preferencji grupowej dla rozważanych wariantów w zależności od kontekstu sytuacji decyzyjnej wskazuje wyraźnie, że kontekst ten musi być bezwarunkowo uwzględniany w procesie podejmowania decyzji. Zaproponowana metoda pozwala nie tylko wskazać wariant preferowany w każdym ze scenariuszy. Pozwala także określić ilościowo siłę preferencji dla poszczególnych wariantów, co może ułatwić podjęcie właściwej decyzji, uwzględniającej subiektywną ocenę szans na realizację poszczególnych scenariuszy.

Na poziom bezpieczeństwa lotniska składa się wiele elementów, które łącznie tworzą spójny system ochrony. Wszystkie te elementy są istotne dla zapewnienia

bezpieczeństwa operacji lotniczej zgodnie ze standardami opisanymi w regulacjach prawnych dotyczących ochrony lotnictwa cywilnego. Standardy te wskazują jedynie minimalne wymagania, jakie powinny zostać spełnione w zakresie ochrony lotniska. Nie definiują natomiast szczegółowego sposobu organizacji systemu ochrony lotniska, pozostawiając tę kwestię zarządzającemu. Dzięki temu zarządzający lotniskiem ma możliwość dostosowania swojej infrastruktury terminalowej do parametrów jakościowych właściwych dla specyfiki danego lotniska.

Planowanie rozwoju lotniska z uwzględnieniem tych parametrów jest niezwykle trudne, jeśli zarządzający nie dysponuje mierzalnymi wartościami, określającymi skutek w zależności od zakresu wdrażanych zmian. Problem ten jest bardzo zauważalny w systemach odpowiedzialnych za bezpieczeństwo pasażerów korzystających z lotniska. Jednym z nich jest system kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego (HBSS), który wymaga zaangażowania określonej przestrzeni w infrastrukturze terminalowej lotniska oraz znacznych nakładów finansowych, związanych między innymi z zakupem i eksploatacją specjalistycznego sprzętu do oceny zawartości bagażu pasażerów. Wymagany jest bowiem wysoki poziom skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych, gdyż dopuszczenie do przewozu przedmiotu lub substancji niebezpiecznej może być katastrofalne dla pasażerów. Z drugiej jednak strony szczegółowa kontrola bagażu rejestrowanego jest czasochłonna, a wydłużony czas jej trwania istotnie wpływa na przepustowość systemu obsługi bagażu i w konsekwencji całego lotniska. To z kolei ma duże znaczenie z punktu widzenia rozwoju lotniska.

Planowanie rozwoju lotniska w kontekście systemu HBSS jest więc procesem, którego wynik jest wypadkową opisanych wyżej czynników. W niniejszym rozdziale przedstawiono metodę grupowej oceny systemu kontroli bagażu rejestrowanego z uwzględnieniem kilku kryteriów oceny, wybranych w wyniku empirycznych badań procesu rozwoju i modernizacji systemów kontroli bagażu rejestrowanego. Dostarcza ona decydentom narzędzia do świadomego planowania konfiguracji HBSS w celu uzyskania wymaganych parametrów wyjściowych. Metoda została zaimplementowana komputerowo, a możliwości jej zastosowania do procesu podejmowania decyzji modernizacyjnych zostały przedstawione na przykładzie lotniska Katowice w Pyrzowicach.

5.1. Punkt kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym

Kontrola bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego, a więc tego, który jest umieszczany w przestrzeni ładunkowej samolotu, jest jedną z podstawowych operacji obsługowych warunkujących możliwość wykonania operacji lotniczej. Obowiązek

dokonania kontroli bezpieczeństwa należy do zarządzającego lotniskiem, który do tego celu wykorzystuje odpowiednio przeszkolone i certyfikowane służby ochrony. Możliwość przewozu w bagażu rejestrowanym określonych kategorii przedmiotów i substancji zabronionych do przenoszenia w bagażu podręcznym (European Commission, 2015) sprawia, iż zakres realizowanej kontroli dotyczy przede wszystkim detekcji materiałów i urządzeń wybuchowych oraz substancji i urządzeń zapalających. Proces ten jest realizowany niezwykle starannie, gdyż brak identyfikacji takich przedmiotów może być katastrofalny dla bezpieczeństwa operacji lotniczej.

Czynności kontrolne w odniesieniu do bagażu rejestrowanego są zazwyczaj skoncentrowane w punkcie kontroli bezpieczeństwa (PKB), który jest złożonym systemem socjotechnicznym. W jego skład wchodzi:

- konwencjonalne urządzenia rentgenowskie służące do prześwietlania zawartości bagażu,
- urządzenia rentgenowskie lub tomograficzne, które dokonują autonomicznie oceny zawartości bagażu, korzystając ze specjalistycznego oprogramowania, składające się na *explosive detection system* (EDS),
- operatorzy kontroli bezpieczeństwa (OKB), którzy na podstawie obrazów uzyskanych z urządzeń prześwietlających dokonują analizy zawartości bagażu, które nie zostały zakwalifikowane do przewozu w sposób automatyczny,
- urządzenia pomocnicze, służące do identyfikacji i przemieszczania bagażu, takie jak skanery przywieszek bagażowych, taśmociągi, sortery (poziomie i pionowe) itp.

Fizycznie PKB zazwyczaj jest ulokowany pomiędzy stanowiskami check-in, w których następuje przyjęcie bagażu, a sortownią, w której następuje rozdzielenie zaakceptowanych bagażu do poszczególnych statków powietrznych. Liczba poszczególnych urządzeń, liczba OKB, sposób podejmowania decyzji o dopuszczeniu bagażu do przewozu są zależne od możliwości i potrzeb konkretnego lotniska i są wynikiem decyzji organizacyjnych podejmowanych przez zarządzającego lotniskiem.

Istotnymi czynnikami przy ocenie punktu kontroli bagażu rejestrowanego są: jego wyposażenie, organizacja, personel oraz metody prowadzenia kontroli, uwzględniające zastosowaną technologię. Są one oceniane pod kątem skuteczności kontroli bezpieczeństwa, przepustowości systemu bezpieczeństwa (Skorupski et al., 2018) oraz optymalizacji kosztów zapewnienia bezpieczeństwa (Kirschenbaum, 2013; Gillen & Morrison, 2015). Ocena ta ma zasadnicze znaczenie przy podejmowaniu decyzji o konieczności modernizacji, a także przy wyborze jej zakresu i kierunków. Istnieje bowiem wiele alternatywnych rozwiązań. Wells & Bradley (2012) dokonali interesującego przeglądu technik wykrywania materiałów wybuchowych w bagażu rejestrowanym. Z kolei Nie et al. (2009) przeanalizowali technologię grupowania pasażerów według poziomu ryzyka i jej wpływ na ocenę

skuteczności kontroli bezpieczeństwa. Podobną analizę, ale w odniesieniu do bagażu rejestrowanego przeprowadzono w (Nie, 2011). Ważnym elementem jest też ocena urządzeń służących do wykrywania materiałów wybuchowych (Skorupski & Uchroński, 2016), a także sposób ich alokacji (Sewell et al., 2012). Feng et al. (2009) analizowali strategię organizacji systemu HBSS w odniesieniu do systemu zdolności i niezawodności człowieka. Naji et al. (2018) dokonali przeglądu istniejących metod optymalizacji procesu ochrony w portach lotniczych, stosowanych technologii, znaczenia doświadczonych funkcjonariuszy ochrony oraz wpływu procesu kontroli bezpieczeństwa na pasażerów i gospodarkę.

Istotnym elementem tej pracy, rozszerzającym dotychczasowy stan badań, jest jednocześnie uwzględnienie wielu kryteriów oceny punktu kontroli bagażu rejestrowanego. Dodatkowo część tych kryteriów ma charakter obiektywny, możliwy do wyznaczenia metodami analitycznymi lub symulacyjnymi, zaś część ma charakter subiektywny, wymagający opisowej oceny przez ekspertów.

System HBSS jest elementem infrastruktury terminala, a sposób jego organizacji wpływa na ogólną ocenę poziomu obsługi pasażerów w porcie lotniczym. Spośród czynników wpływających na podejmowanie decyzji modernizacyjnych dotyczących infrastruktury terminala analizowano na przykład problematykę kongestii (Wan et al., 2015), zależnej między innymi od sposobu funkcjonowania systemu kontroli bagażu. De Barros & Tomber (2007) analizowali wpływ zwiększonych wymagań bezpieczeństwa na planowanie i eksploatację terminali pasażerskich w portach lotniczych. Forsyth (2007) sugeruje konieczność uwzględnienia wymagań infrastrukturalnych przy alokacji przestrzeni dedykowanej dla kontroli bezpieczeństwa. Ważnym elementem przy podejmowaniu decyzji modernizacyjnych są oczywiście koszty (Stewart & Mueller, 2014), które należy zestawić z ilościową oceną uzyskiwanych korzyści w postaci wzrostu skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych (Skorupski & Uchroński, 2015; 2018). Identyfikacji i oceny najważniejszych elementów systemu HBSS dokonano w pracy (Leone & Liu, 2005). Przedstawiono tam model analityczny, który określi optymalną liczbę urządzeń systemu wykrywania materiałów wybuchowych w oparciu o poziomy zapotrzebowania pasażerów i protokoły bezpieczeństwa.

Niniejsza praca rozszerza dotychczasowe badania poprzez uwzględnienie kryterium wymagań infrastrukturalnych w analizie oraz subiektywne określenie kryterium kosztu. Takie podejście uważamy za właściwe, ponieważ w zmieniających się warunkach rynkowych, ale także formalnoprawnych, oceny kosztów modernizacji punktu kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego oraz jego eksploatacji mają charakter przybliżony i niepewny. Dodatkowo przeprowadzona analiza uwzględnia możliwe scenariusze rozwoju sytuacji, takie jak: zmiany przepisów, zmiany zagrożenia terrorystycznego, awarie sprzętu czy gwałtowne zmiany

wielkości obsługiwanego ruchu. Zaistnienie takich scenariuszy może mieć zasadniczy wpływ na podejmowane decyzje modernizacyjne.

System kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym jest złożonym systemem antropotechnicznym. Do jego analizy konieczne jest stosowanie modeli, często hybrydowych, umożliwiających uwzględnienie różnych aspektów jego funkcjonowania. Przeglądu modeli do analizy portu lotniczego jako systemu złożonego dokonali Wu & Mengersen (2013). W pracy (Tamasi & Demichela, 2011) zaproponowano techniki oceny ryzyka w ochronie lotnictwa, które mogą być stosowane w odniesieniu do kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego. Kierzkowski & Kisiel (2017a) przedstawili przykład modelu symulacyjnego wspomagającego zarządzanie systemem check-in w taki sposób, aby zminimalizować zmienność punktów kontroli bezpieczeństwa.

W problemach analizy systemów kontroli bezpieczeństwa występuje znaczna niepewność informacji oraz subiektywizm niektórych ocen. W związku z tym konieczne jest stosowanie metod miękkich, na przykład opartych na logice rozmytej (Akgun et al., 2010; Kierzkowski & Kisiel, 2017b). Wiele z nich opiera się na technikach wywodzących się z logiki rozmytej. Z kolei Liou et al. (2011) zaproponowali wykorzystanie zbiorów przybliżonych opartych na dominacji do analizy systemów obsługi w portach lotniczych. W Wu & Mengersen (2013) zasugerowano konieczność analizy systemu ochrony lotniska w aspekcie dwóch kryteriów, zarówno kryterium przepustowości, jak i efektywności kontroli. Stąd wykorzystanie w prezentowanej pracy metody wielokryterialnej oceny wariantów w warunkach niepewności.

Jak już wspomniano, niektóre z kryteriów uwzględnianych w analizie mają charakter subiektywny. Dlatego też wykorzystano metodę opartą na teorii wnioskowania rozmytego (Skorupski, 2014). Rozszerzenie dotychczasowych analiz polega na uwzględnieniu różnych punktów widzenia ekspertów dokonujących ocen subiektywnych, które realizowane jest przez potraktowanie problemu jako grupowego podejmowania decyzji.

5.2. Uzasadnienie tematu

Przy podejmowaniu decyzji o organizacji i rozwoju systemu HBSS zazwyczaj pod uwagę bierze się głównie przepustowość. Jest oczywiste, że zasadniczym celem działania systemu jest zapewnienie bezpieczeństwa, jednak związane z nim dość oczywiste kryterium skuteczności kontroli jest trudne do określenia ilościowego, zatem zazwyczaj poprzestaje się na stwierdzeniu, że spełnione są wszystkie normy przewidziane przez regulacje międzynarodowe (ICAO, 2010; European Commission, 2015).

Dzięki zastosowaniu opracowanej wcześniej koncepcji oceny skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego z wykorzystaniem systemów wnioskowania rozmytego (Skorupski & Uchroński, 2015) możliwe będzie ilościowe określenie poziomu bezpieczeństwa. Ponieważ występujące kryteria oceny są częściowo subiektywne, zastosowana zostanie metoda opisana pierwotnie w (Skorupski, 2014), w której istotną rolę odgrywają opinie grupy ekspertów. Do obliczeń wykorzystana zostanie również metoda logiki rozmytej, która jest adekwatna dla podejmowania decyzji w warunkach występowania informacji niepewnej i subiektywizmu ocen.

Dokonana także zostanie ocena uwzględniająca jednocześnie kilka sprzecznych kryteriów – skuteczności kontroli, przepustowości systemu, kosztów i wymagań infrastrukturalnych. Pokaże ona, że możliwa jest ocena wariantów modernizacyjnych, przy jednoczesnym występowaniu obiektywnych i subiektywnych kryteriów oceny, a także przy uwzględnieniu różnych punktów widzenia, co jest równoważne z podejmowaniem decyzji przez grupę decydentów. Badania wykażą istotność kontekstu podejmowania decyzji, który może zmienić relację preferencji grupowej. Dzięki zastosowaniu proponowanej metody wskazane zostaną parametry dla wariantu najlepszego.

Proponowana metoda może być wykorzystana zarówno do projektowania zupełnie nowego systemu HBSS, jak i do modyfikacji istniejącego rozwiązania. Analiza drugiego scenariusza zostanie przeprowadzona dla Katowice Airport (KTW). KTW to klasyczny przedstawiciel lotnisk kategorii A0, zaproponowanej przez Dobruszkesa i in. (2017). Podzielili oni lotniska na pięć kategorii: Kategoria A obejmuje wszystkie lotniska zlokalizowane w obszarach metropolitalnych z ponad dwoma milionami mieszkańców. Jeżeli na obszarze tej wielkości istnieje tylko jeden port lotniczy, zalicza się go do kategorii A0.

5.3. Metoda wielokryterialnej grupowej oceny systemu HBSS

W rzeczywistym zarządzaniu systemem HBSS mamy zazwyczaj do czynienia z istniejącą konfiguracją systemu, na którą składają się: konkretne wyposażenie techniczne, obsada personalna i organizacja procesu kontroli. Konfiguracja taka jest w swojej równowadze, to znaczy wymagania dotyczące przepustowości, skuteczności i innych kryteriów spełnione są w stopniu zadowalającym. Stan taki może trwać przez dłuższy czas. Jednak w pewnych chwilach może zachodzić potrzeba modyfikacji konfiguracji systemu HBSS. Modyfikacje te mogą mieć różne przychyty i iść w trzech różnych kierunkach:

- zwiększenia przepustowości – taka sytuacja może zachodzić w przypadku konieczności rozładowania pojawiających się spiętrzeń ruchowych czy też podjęcia działań mających nie dopuścić do opóźnień w odlotach; można się wówczas spodziewać zmniejszenia skuteczności kontroli,

- zwiększenia skuteczności kontroli – konieczność taka może zachodzić w przypadku uzyskania informacji o zwiększonym zagrożeniu o charakterze terrorystycznym; przepustowość w takiej sytuacji będzie zapewne zmniejszona,
- spełnienia wymogów prawnych – wprowadza się przepisy wymuszające wprowadzanie zmian, na przykład Standardu III, polegającego na wykorzystaniu do kontroli automatycznej CTX (*computer tomography X-ray*); w takiej sytuacji pojawia się problem, kiedy dokonać zmiany (może to mieć wpływ na koszty) i na jaką klasę sprzętu (podobnie).

Zaproponowany w tej pracy model do oceny systemu HBSS pozwoli stwierdzić, jakie zmiany o charakterze ilościowym są wynikiem poszczególnych działań wymienionych powyżej. W tym celu najpierw zostaną przedstawione poszczególne warianty modyfikacji systemu i kryteria ich oceny, a następnie sposób oceny systemu HBSS oraz implementacja komputerowa modelu wraz z jego weryfikacją i walidacją.

5.4. Warianty systemu HBSS

Wariant 1 – podstawowy

Jako wariant podstawowy zostanie przyjęta konfiguracja występująca aktualnie w KTW. Kontrola bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego jest tutaj realizowana w systemie czteropoziomym. Składa się on z:

- kontroli automatycznej, realizowanej przez dedykowane oprogramowanie zainstalowane w przeglądarce rentgenowskiej,
- kontroli w trybie standardowym, wykonywanej przez OKB z wykorzystaniem obrazu prześwietlonego bagażu uzyskanego w etapie 1,
- kontroli w trybie specjalnym, również wykonywanej przez OKB, który jednak dysponuje dłuższym czasem na analizę oraz nowym obrazem prześwietlanego bagażu,
- kontroli manualnej.

W wariantcie tym na poziomie automatycznym i specjalnym wykorzystywane jest urządzenie rentgenowskie klasy HI-SCAN EDX-2is, poziomy 2, 3 i 4 są obsadzone przez jednego OKB, zaś średnia prędkość przesuwu taśmy w taśmociągu wynosi 0,5 m/s.

Warianty 2 i 3

Jako alternatywny do analizy zostanie przyjęty system HBSS składający się z trzech poziomów kontroli, bez kontroli w trybie specjalnym. Rozwiązanie to jest tańsze, gdyż nie wymaga eksploatacji urządzenia rentgenowskiego (które w Wariantcie 1 jest zainstalowane na poziomie kontroli specjalnej), nie wymaga OKB na tym poziomie oraz ma prostszy układ taśmociągów. Może powstać

pytanie: po co rezygnować z istniejącego już poziomu kontroli i zastosowanego tam urządzenia? W przypadku wykorzystywania urządzeń nieco starszych, a taka sytuacja ma miejsce w MPL Katowice, prawdopodobne są ich awarie. W takiej sytuacji posiadanie dodatkowego urządzenia RTG, które będzie stanowiło rezerwę, może okazać się ważniejsze niż bardziej rozbudowany system HBSS.

Nawet pobieżne szacunki pozwalają stwierdzić, że stosunkowo dużo bagaży jest w takim wariacie kierowanych do czasochłonnej (choć bardzo skutecznej) kontroli manualnej, która przy jednym OKB nie byłaby w stanie na bieżąco obsługiwać bagaży napływających do kontroli. W związku z tym rozważymy dwa przypadki szczegółowo: Wariant 2 z dwoma i Wariant 3 z czterema OKB wykonującymi kontrolę manualną. Założyć należy, że warianty te są możliwe do realizacji, uwzględniając przestrzeń niezbędną do niezależnego kontrolowania każdej sztuki bagażu, odpowiednią obsadę personalną oraz wyposażenie stanowiska kontroli w tak zwaną stację re-check, umożliwiającą przywołanie obrazu analizowanej sztuki bagażu.

Wariant 4

Codzienna praktyka eksploatacji systemów HBSS wskazuje, że najbardziej efektywnym czasowo sposobem prowadzenia kontroli bagażu rejestrowanego jest kontrola automatyczna. Dlatego też jako Wariant 4 zostanie przeanalizowana taka organizacja systemu HBSS, w której występują dwa urządzenia rentgenowskie z systemem EDS, pracujące równolegle. Przyjęto założenie, że bagaże napływające ze stanowisk check-in są kierowane do pierwszego wolnego urządzenia, a następnie po kontroli automatycznej i przebyciu czterech taśmociągów oba strumienie są łączone i podlegają kolejnym etapom kontroli.

5.5. Kryteria oceny wariantów

Warianty organizacji HBSS mogą być oceniane z uwzględnieniem wielu kryteriów. Niektóre z nich związane są bezpośrednio z celami wprowadzanej modernizacji, takimi jak wzrost przepustowości lub wzrost skuteczności kontroli. Inne związane są bardziej z ograniczeniami ekonomicznymi lub organizacyjnymi, jakie występują przy budowie lub modernizacji systemu HBSS. Niektóre z nich mogą być wyrażone obiektywnie w jednostkach liczbowych, inne zaś subiektywnie za pomocą ocen opisowych.

Przepustowość systemu HBSS

Przepustowość systemu HBSS jest kryterium obiektywnym, mierzonym maksymalną liczbą sztuk bagażu, jaka może zostać skontrolowana w ciągu jednej godziny. Zależy ona od takich elementów jak:

- liczba i ułożenie przenośników taśmowych i związana z tym długość systemu taśmociągów,
- zastosowana prędkość przesuwu taśmy,
- separacja pomiędzy bagażami,
- czas trwania kontroli przez OKB oraz w urządzeniach automatycznych,
- struktura procesu decyzyjnego.

Z praktycznego punktu widzenia duże znaczenie ma wielkość zwana przepustowością praktyczną. Charakteryzuje ona zdolność obsługową systemu HBSS dla praktycznie występującej formy (kształtu) funkcji rozkładu zmiennej losowej, która opisuje losowe odstępy czasu między kolejnymi bagażami zgłaszającymi się do systemu. Porównując różne systemy HBSS, na przykład na różnych lotniskach, lepiej jest stosować przepustowość maksymalną, jako bardziej obiektywny wskaźnik. Jednak, analizując różne możliwe rozwiązania organizacji systemu HBSS w tym samym porcie lotniczym, korzystniejsze może się okazać używanie przepustowości praktycznej, która uwzględnia specyficzny dla tego portu lotniczego proces napływu bagażu do kontroli. W przeprowadzonych badaniach wykorzystane zostały oba te pojęcia.

Skuteczność kontroli bezpieczeństwa

Niezwykle istotnym z punktu widzenia funkcjonowania systemu HBSS kryterium jest skuteczność kontroli. Zależy od niej bezpieczeństwo realizowanej operacji lotniczej, a tym samym bezpieczeństwo pasażerów. W pracy (Skorupski & Uchroński, 2015) przedstawiona została metoda oceny skuteczności kontroli dla konkretnej organizacji systemu HBSS. Uwzględnia ona wpływ dwóch głównych parametrów, jakimi są jakość kontroli wykonywanej przez OKB oraz jakość wykorzystywanych urządzeń rentgenowskich. Pierwszy parametr zależy od ogólnych predyspozycji OKB, liczby popełnianych przez niego błędów (polegających na niewykryciu zagrożenia w bagażu testowym) oraz od sposobu organizacji systemu HBSS. Z kolei jakość urządzenia może być oceniona w zależności od możliwości wykrywania materiałów niebezpiecznych, liczby generatorów obrazu, jakości systemu projekcji obrazu zagrożenia (TIP) oraz wieku maszyny.

Skuteczność kontroli traktowana jest tutaj jako kryterium obiektywne, wyrażone liczbą w skali ciągłej od 1 do 5. Metoda oceny zastosowana w pracy (Skorupski & Uchroński, 2015) wykorzystuje system wnioskowania rozmytego, który oparty jest na subiektywnej wiedzy grupy ekspertów. Jednak przyjęty tam mechanizm wnioskowania daje w efekcie końcowym wartość zdefuzyfikowaną, pozwalającą na precyzyjne porównania. Należy zatem mieć na uwadze, że wprawdzie wiedza prowadząca do wyniku jest subiektywna, jednak dzięki

możliwości liczbowego porównywania poziomu skuteczności kontroli można ten parametr traktować jako obiektywny.

Wymagania infrastrukturalne

Jak już wspomniano, nie zawsze istnieje możliwość budowania systemu HBSS od podstaw, z możliwością swobodnego dysponowania infrastrukturą niezbędną do jego lokalizacji. Często mamy do czynienia z sytuacją, kiedy zarządzający lotniskiem modernizuje już istniejący system kontroli bagażu. Z reguły dzieje się tak wówczas, gdy zwiększa się liczba operacji lotniczych lub też ulegają zmianie regulacje prawne. W takiej sytuacji istotnym kryterium stają się wymagania infrastrukturalne, wynikające z przyjętej koncepcji rozwoju systemu HBSS. Kryterium wymagań infrastrukturalnych jest częściowo związane z kryterium kosztów, jednak w przypadku niewielkich gabarytowo lotnisk, o stosunkowo dużym natężeniu ruchu pasażerskiego, gdzie znaczące powiększenie przestrzeni zajmowanej przez system HBSS nie jest możliwe, kryterium to może być bardzo istotne. Może bowiem nawet uniemożliwić wprowadzenie planowanej modernizacji, mimo że koszty przebudowy są niewielkie. Także w sytuacji tworzenia nowego systemu HBSS kryterium to jest istotne, gdyż przeznaczenie dużej przestrzeni na system HBSS może się odbywać kosztem innych ważnych obszarów, na przykład strefy bezpośredniej obsługi pasażerów.

Ze względu na możliwe różnice w konkretnych realizacjach nawet zbliżonych wariantów, precyzyjne określenie w jednostkach liczbowych wymagań infrastrukturalnych jest utrudnione. Dlatego też przyjęto, że kryterium to będzie traktowane jako subiektywne i określane opisowo przez ekspertów.

Koszty eksploatacji

Wiele z możliwych do przyjęcia rozwiązań szczegółowych wiąże się z dużymi nakładami finansowymi, a dostępne fundusze są zazwyczaj ograniczone. Dlatego też kryterium kosztów musi być brane pod uwagę podczas modernizowania systemu HBSS. Należy przy tym uwzględnić jednorazowe koszty początkowe związane z wdrożeniem koncepcji zmian, jak i późniejsze koszty bieżącej eksploatacji systemu.

W symulacji przyjęto, że horyzont planowania modernizacji wynosi 5 lat. Po takim czasie można spodziewać się zmian otoczenia wymuszających kolejną modyfikację. Zatem koszty bieżącej eksploatacji zostaną uwzględnione w ujęciu rocznym i powiększone o rozłożone na 5 lat koszty początkowe. Ze względu na trudność precyzyjnego określenia kosztu urządzeń czy kosztu zatrudnienia OKB, zostanie tu wykorzystana ocena za pomocą subiektywnej opisowej oceny ekspertów.

5.6. Metoda wielokryterialnej grupowej oceny wariantów w warunkach niepewności

Do wielokryterialnej oceny wariantów organizacji PKB bagażu rejestrowanego została wykorzystana metoda opisana w (Skorupski, 2014). Ogólny algorytm tej metody jest następujący:

- Definiuje się grupę decydentów (ekspertów) oraz warianty podlegające ocenie.
- Określany jest zestaw kryteriów obiektywnych (umożliwiających przedstawienie jasnych, liczbowych ocen) oraz subiektywnych (które wymagają subiektywnej oceny językowej). Metoda ta pozwala na jednoczesne uwzględnienie obu rodzajów kryteriów, bez konieczności sztucznego ograniczania ocen tylko do jednego.
- Określana jest funkcja dla oceny wariantów przez decydentów dla poszczególnych (obiektywnych i subiektywnych) kryteriów. Oceny obiektywne opierają się na wartościach reprezentowanych przez liczby rzeczywiste, podczas gdy oceny subiektywne są oparte na wartościach językowych.
- Decydenci określają znaczenie kryteriów, dokonując rozmytych ocen. Decydenci samodzielnie i dowolnie określają znaczenie kryteriów i nie muszą ze sobą współpracować.
- Określana jest łączna waga kryteriów dla wszystkich decydentów.
- Oceny wariantów są znormalizowane, w wyniku czego wszystkie kryteria mają zostać zmaksymalizowane; skala oceny jest taka sama. W zależności od tego, jak kryteria są zdefiniowane, ten etap może mieć znaczenie dla wszystkich kryteriów lub tylko dla kryteriów obiektywnych.
- Określana jest sumatywna ocena językowa dla poszczególnych wariantów dla wszystkich decydentów.
- Oceny rozmyte są usuwane i konstruowane są relacje preferencji grupowych dla wariantów.

Zakłada się, że grupa ekspertów E uczestniczy w ocenie wariantowej:

$$E = \{e_i\}, i = 1, \dots, e \quad (54)$$

Zadaniem decydentów jest wybranie najlepszego wariantu z zestawu

$$V = \{v_j\}, j = 1, \dots, v \quad (55)$$

Warianty będą oceniane ze względu na zestaw kryteriów, wśród których można wyodrębnić kryteria obiektywne, czyli kryteria, dla których można jednoznacznie przypisać liczbową ocenę wartości poszczególnym wariantom oraz kryteria

subiektywne, które wymagają oceny o charakterze językowym. Dlatego zestaw kryteriów składa się z kryteriów obiektywnych:

$$CO = \{c_k\}, k = 1, \dots, co \quad (56)$$

i subiektywnych:

$$CS = \{c_k\}, k = co + 1, \dots, co + cs \quad (57)$$

gdzie co i cs oznaczają odpowiednio liczbę kryteriów obiektywnych i liczbę kryteriów subiektywnych.

Funkcje do oceny wariantu będą odpowiadały rodzajom kryteriów: obiektywnym, tj.

$$vo: E \times V \times CO \rightarrow \mathbb{R} \quad (58)$$

i subiektywnym, tj.

$$vs: E \times V \times CS \rightarrow B \quad (59)$$

gdzie:

$vo(e_i, v_j, c_k), c_k \in CO$ – oznacza liczbową ocenę, jaką wydał i -th ekspert dla j -th wariantu z uwzględnieniem k -th (obiektywnego) kryterium,

$vs(e_i, v_j, c_k), c_k \in CS$ – oznacza rozmytą ocenę językową, którą i -th ekspert nadał j -th wariantowi w odniesieniu do k -th (subiektywnego) kryterium,

$B = \{(x, \mu_B(x)): x \in X, \mu_B(x) \in [0, 1]\}$ – oznacza zbiór rozmyty, który reprezentuje wartość zmiennej językowej x należącej do zbioru X , opisanego funkcją przynależności μ_B .

Kolejnym krokiem jest określenie ważności poszczególnych kryteriów oceny wariantów. Wiele metod oceny wielokryterialnej zakłada, że eksperci (decydenci) są w stanie przypisać wartości liczbowe wagom kryteriów. W rzeczywistości jest to bardzo trudne do zrobienia, dlatego w praktyce eksperci raczej zgadują, niż naprawdę wiedzą, jakie są wagi kryteriów lub przynajmniej relacje między nimi. Ekspertom znacznie łatwiej i wygodniej jest przypisywać oceny językowe kryteriom, takim jak *ważne* lub *mało ważne*. Przyjmuje się zatem, że wagi poszczególnych kryteriów przyjmują wartość rozmytą:

$$wg: E \times (CO \cup CS) \rightarrow K \quad (60)$$

gdzie:

$$K = \{(y, \mu_K(y)): y \in Y, \mu_K(y) \in [0, 1]\} \quad (61)$$

natomiast $wg(e_p, c_k) = (y, \mu_K(y))$: $y \in Y$, $\mu_K(y) \in [0,1]$ – oznacza rozmytą ocenę językową, którą i -th ekspert nadał k -th kryterium, podczas gdy zbiór Y oznacza zbiór możliwych rozmytych wag kryterium.

Jak już wspomniano, każdy z ekspertów może subiektywnie i niezależnie przypisać wagi $wg(e_p, c_k)$. Dlatego konieczne jest obliczenie agregacji wagi:

$$wga: (CO \cup CS) \rightarrow K \quad (62)$$

natomiast

$$wga(c_k) = \frac{1}{e} \sum_{i=1}^e wg(e_i, c_k) \quad (63)$$

Biorąc pod uwagę, że wagi $wg(e_p, c_k)$ mają charakter lingwistyczny, należy każdorazowo wyznaczyć postać relacji dla założonej postaci funkcji przynależności μ_K .

Wykorzystując zagregowane wagi kryteriów, można określić sumaryczną ocenę j -th wariantu dokonaną przez grupę decydentów:

$$ua(v_j) = \sum_{k=1}^{co} (wga(c_k) \cdot \sum_{i=1}^e \bar{vo}(e_i, v_j, c_k)) + \sum_{k=co+1}^{co+cs} (wga(c_k) \cdot \sum_{i=1}^e vs(e_i, v_j, c_k)) \quad (64)$$

Zakłada się również, że zbiór przestrzeni rozważań X dla kryteriów subiektywnych jest równoważny przedziałowi $[0, x_k]$, gdzie $x_k > 1$; dlatego ocena sumatywna jest dokonywana przy użyciu znormalizowanych wartości oceny dla obiektywnych kryteriów \bar{vo} , które są zdefiniowane w następujący sposób:

$$\bar{vo}(e_i, v_j, c_k) = x_k \cdot \widehat{vo}(e_i, v_j, c_k) \quad (65)$$

gdzie wartości \widehat{vo} oznaczają oceny, które zostały znormalizowane do przedziału $[0,1]$ zgodnie z zależnościami:

dla kryteriów, które mają zostać zmaksymalizowane:

$$\widehat{vo}(e_i, v_j, c_k) = \frac{vo(e_i, v_j, c_k) - \min_{j=1, \dots, v} (vo(e_i, v_j, c_k))}{\max_{j=1, \dots, v} (vo(e_i, v_j, c_k)) - \min_{j=1, \dots, v} (vo(e_i, v_j, c_k))} \quad (66)$$

dla kryteriów, które mają być zminimalizowane:

$$\widehat{vo}(e_i, v_j, c_k) = \frac{\max_{j=1, \dots, p} (vo(e_i, v_j, c_k)) - vo(e_i, v_j, c_k)}{\max_{j=1, \dots, v} (vo(e_i, v_j, c_k)) - \min_{j=1, \dots, v} (vo(e_i, v_j, c_k))} \quad (67)$$

Działania na liczbach rozmytych i jednocześnie działania na liczbach rzeczywistych i rozmytych wymagają każdorazowego określenia dla założonych form funkcji przynależności μ_K i μ_B .

Uzyskanie sumatywnych ocen wariantów $ua(v_j)$, które są zbiorami rozmytymi, pozwala na określenie ich oceny za pomocą defuzyfikacji. W ten sposób

uzyskuje się wartości nierozmyte reprezentujące poszczególne zmienne rozmyte. Formę funkcji defuzyfikacji można wybrać dowolnie. Ogólnie rzecz biorąc, defuzyfikację można przeprowadzić za pomocą metody bisekcji. Wartość \bar{u} , która przecina obszar pod krzywą μ_B na pół zgodnie z następującym wzorem jest wybierana jako wartość reprezentująca zbiór rozmyty:

$$\int_{u_{min}}^{\bar{u}} \mu_B(u) du = \int_{\bar{u}}^{u_{max}} \mu_B(u) du \quad (68)$$

Stąd, gdy wartość nierozmyta uzyskana przez defuzyfikację, która reprezentuje wynik rozmyty $ua(v_j)$, jest oznaczona $\bar{ua}(v_j)$, preferowany wariant grupy v^* spełnia zależność:

$$v^* = v_r: \left(\bar{ua}(v_r) = \max(\bar{ua}(v_j), j = 1, \dots, v) \right) \quad (69)$$

Oprócz określenia najlepszego wariantu, zaproponowana metoda umożliwia uporządkowanie wszystkich wariantów, a relacja preferencji grupowych spełnia zależność:

$$\begin{aligned} O^* = & \left(v_r: \left(\bar{ua}(v_r) = \left(\max(\bar{ua}(v_j), j = 1, \dots, v) \right) \right) \right) > \dots > v_s: \left(\bar{ua}(v_s) > \bar{ua}(v_t) \right) > v_t > \\ & \dots > v_w: \left(\bar{ua}(v_w) = \left(\min(\bar{ua}(v_j), j = 1, \dots, v) \right) \right) \end{aligned} \quad (70)$$

5.7. Implementacja metody do oceny systemu HBSS

Kolejnym krokiem metody jest określenie ważności kryteriów oceny oraz dokonanie oceny poszczególnych wariantów z uwzględnieniem wszystkich kryteriów. Do tego celu użyta została wiedza ekspertów (w odniesieniu do ważności kryteriów oraz ocen wariantów pod względem kryteriów subiektywnych) oraz modele i narzędzia komputerowe opracowane w ramach dotychczasowych prac. Do oceny przepustowości wykorzystano narzędzie symulacyjne stworzone w ramach pracy (Skorupski et al., 2018), natomiast do oceny skuteczności systemu HBSS wykorzystany został system wnioskowania rozmytego przedstawiony w pracy (Skorupski & Uchroński, 2015). Oceny eksperckie zostały natomiast zebrane metodą ankietową. Do dokonania wielokryterialnej oceny wariantów wykorzystano zaś narzędzie stworzone w pracy (Skorupski, 2014).

Jako eksperci zostały wybrane osoby posiadające wieloletnie doświadczenie w ochronie lotnictwa cywilnego oraz w obszarze zarządzania systemem HBSS. Zostały dobrane tak, aby reprezentowały różne obszary odpowiedzialności za prawidłowe funkcjonowanie systemu:

- Ekspert 1 – osoba odpowiedzialna za bieżący nadzór nad systemem transportu bagażu. Jej zadaniem jest czuwanie nad ciągłością pracy przenośników

taśmowych, usuwanie zatorów spowodowanych kumulacją bagażu lub awarią urządzeń. Do zadań tej osoby należy również bieżąca konserwacja systemu oraz współpraca z podmiotami serwisującymi system.

- Ekspert 2 – operator kontroli bezpieczeństwa. Osoba odpowiedzialna za prawidłową ocenę zawartości bagażu oraz kontrolę bezpieczeństwa osób. Jej głównym zadaniem jest wykrycie i niedopuszczenie do przewozu przedmiotów zakwalifikowanych jako zabronione, które mogłyby posłużyć do popełnienia aktu bezprawnej ingerencji.
- Ekspert 3 – menedżer odpowiedzialny za wynik finansowy przedsiębiorstwa. Zadaniem tej osoby jest ograniczanie stałych wydatków kosztowych oraz nadzór nad realizacją założeń budżetowych.
- Ekspert 4 – koordynator terminala. Osoba odpowiedzialna za koordynowanie przepływu pasażerów i bagażu w budynku terminala. Realizuje zadania w zakresie bieżącego nadzoru nad infrastrukturą terminalową w celu zachowania jej gotowości operacyjnej.

W Tabeli 24 przedstawiono oceny dokonane przez ekspertów, odnoszące się do ważności poszczególnych kryteriów oceny. Do oceny ważności kryteriów eksperci mogli użyć określeń: *nieważne*, *mało ważne*, *średnio ważne*, *ważne*, *bardzo ważne*.

Tabela 24. Eksperska ocena ważności poszczególnych kryteriów

	Przepustowość (c1)	Skuteczność (c2)	Wymagania infrastrukturalne (c3)	Koszt eksploatacji (c4)
Ekspert 1	<i>bardzo ważne</i>	<i>ważne</i>	<i>średnio ważne</i>	<i>mało ważne</i>
Ekspert 2	<i>średnio ważne</i>	<i>bardzo ważne</i>	<i>średnio ważne</i>	<i>nieważne</i>
Ekspert 3	<i>średnio ważne</i>	<i>mało ważne</i>	<i>ważne</i>	<i>bardzo ważne</i>
Ekspert 4	<i>nieważne</i>	<i>mało ważne</i>	<i>bardzo ważne</i>	<i>ważne</i>

Źródło: opracowanie własne.

Jak już zaznaczono wcześniej, część kryteriów ma charakter obiektywny. Oceny wariantów względem tych kryteriów przedstawione są w Tabeli 25.

Tabela 25. Obiektywne oceny wariantów

	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Przepustowość	508	279	482	633
Skuteczność	3,53	4,47	4,47	3,53

Źródło: opracowanie własne.

Oceny przepustowości dokonano przy założeniu, że strumień wejściowy bagażu ma identyczną strukturę jak zaobserwowany w praktyce. Jedynie jego intensywność jest większa. Podano zatem wartości przepustowości praktycznej. Jak wykazano w pracy (Skorupski et al., 2018), przepustowość w Wariancie 4 jest silnie zależna od liczby OKB pracujących w trybie kontroli standardowej. Dla porównywalności wyników przyjęto, że na tym stanowisku pracuje jeden OKB.

W odniesieniu do oceny skuteczności przyjęto, że we wszystkich wariantach kontroli dokonywała grupa doświadczonych pracowników opisywana szczegółowo w pracy (Skorupski & Uchroński, 2015), która charakteryzuje się zagregowaną oceną 4,46 (w skali 1–5), a średnia ważona stopa popełnianych przez nich błędów wynosi 13,55%. Jednocześnie przyjęto, że przy kontroli przez OKB stosowane jest urządzenie rentgenowskie, którego ocena dokonana w pracy (Skorupski & Uchroński, 2016) wynosi 4,4 (w skali 1–5).

Warianty 1 i 4 mają identyczną strukturę w odniesieniu do skuteczności kontroli, różnią się bowiem tylko liczbą wykorzystywanych urządzeń do kontroli automatycznej. Przyjęto, że urządzenia te są takie same. W Wariantach 2 i 3 zmiana sposobu organizacji systemu zwiększa rolę kontroli wykonywanej manualnie przez OKB, co powoduje wzrost skuteczności.

W Tabeli 26 przedstawiono oceny wariantów pod kątem kryteriów subiektywnych dokonane przez ekspertów. W tym przypadku do oceny wariantów eksperci mogli użyć określeń: *bardzo wysokie, wysokie, średnie, niskie i bardzo niskie*.

Tabela 26. Eksperska ocena wariantów – kryteria subiektywne

		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Ekspert 1	Wymagania infrastrukturalne	<i>średnie</i>	<i>niskie</i>	<i>średnie</i>	<i>wysokie</i>
	Koszt eksploatacji	<i>średnie</i>	<i>bardzo niskie</i>	<i>niskie</i>	<i>wysokie</i>
Ekspert 2	Wymagania infrastrukturalne	<i>średnie</i>	<i>niskie</i>	<i>niskie</i>	<i>bardzo wysokie</i>
	Koszt eksploatacji	<i>niskie</i>	<i>bardzo niskie</i>	<i>niskie</i>	<i>wysokie</i>
Ekspert 3	Wymagania infrastrukturalne	<i>średnie</i>	<i>niskie</i>	<i>wysokie</i>	<i>bardzo wysokie</i>
	Koszt eksploatacji	<i>niskie</i>	<i>niskie</i>	<i>średnie</i>	<i>średnie</i>
Ekspert 4	Wymagania infrastrukturalne	<i>wysokie</i>	<i>niskie</i>	<i>średnie</i>	<i>wysokie</i>
	Koszt eksploatacji	<i>średnie</i>	<i>średnie</i>	<i>wysokie</i>	<i>bardzo wysokie</i>

Źródło: opracowanie własne.

5.8. Ocena wariantów modernizacji systemu HBSS dla MPL Katowice

W pierwszej kolejności należy dokonać agregacji ocen ważności kryteriów. Krok ten wymaga zdefiniowania znaczenia tej operacji dla przyjętych funkcji przynależności dla poszczególnych zbiorów rozmytych. Tutaj przyjęto trapezoidalne funkcje przynależności. Dlatego dla każdego z kryteriów ocenę dokonaną przez i -th eksperta można wyrazić w następujący sposób:

$$\left(m(wg(e_i, c_k)), n(wg(e_i, c_k)), p(wg(e_i, c_k)), q(wg(e_i, c_k)) \right) \quad (71)$$

gdzie notacje $m(wg(e_i, c_k))$ należy interpretować jako oznaczający pierwszy parametr trapezowej funkcji przynależności dla zmiennej językowej, która została przypisana przez i -th eksperta jako waga do k -th kryterium oceny. Waga zagregowana waga (c_k) przyjmie postać trapezowej funkcji przynależności z parametrami (m^1, n^1, p^1, q^1) , które są zdefiniowane w następujący sposób:

$$m^1 = \frac{1}{e} \sum_{i=1}^e m(wg(e_i, c_k)) \quad (72)$$

$$n^1 = \frac{1}{e} \sum_{i=1}^e n(wg(e_i, c_k)) \quad (73)$$

$$p^1 = \frac{1}{e} \sum_{i=1}^e p(wg(e_i, c_k)) \quad (74)$$

$$q^1 = \frac{1}{e} \sum_{i=1}^e q(wg(e_i, c_k)) \quad (75)$$

W Tabeli 27 przedstawiono zagregowane wagi dla kryteriów w analizowanym przykładzie, które wyznaczono za pomocą wzorów (72–75).

Tabela 27. Agregacja wag, które zostały przypisane do kryteriów przez ekspertów

	$wga(c_k)$
Kryterium 1 (c_1)	(3,25, 4, 5, 5,75)
Kryterium 2 (c_2)	(3,5, 4,5, 5,5, 6,25)
Kryterium 3 (c_3)	(4,5, 5,5, 6,5, 7,25)
Kryterium 4 (c_4)	(3,25, 4, 5, 5,75)

Źródło: opracowanie własne.

W kolejnym kroku konieczne jest znormalizowanie ocen do tej samej skali i zdefiniowanie operacji arytmetycznych na funkcjach przynależności do przyjętych zbiorów rozmytych. Dla trapezowych funkcji przynależności z parametrami

(m_1, n_1, p_1, q_1) i (m_2, n_2, p_2, q_2) oraz stałymi s operacje te zostaną zdefiniowane w następujący sposób (Tyagi et al., 2010):

$$s \cdot (m_1, n_1, p_1, q_1) = (s \cdot m_1, s \cdot n_1, s \cdot p_1, s \cdot q_1) \quad (76)$$

$$(m_1, n_1, p_1, q_1) \cdot (m_2, n_2, p_2, q_2) = (m_1 \cdot m_2, n_1 \cdot n_2, p_1 \cdot p_2, q_1 \cdot q_2) \quad (77)$$

$$(m_1, n_1, p_1, q_1) + (m_2, n_2, p_2, q_2) = (m_1 + m_2, n_1 + n_2, p_1 + p_2, q_1 + q_2) \quad (78)$$

Oceny wariantów, które zostały znormalizowane zgodnie z wzorami (68–70) w odniesieniu do poszczególnych kryteriów dla eksperta 2, przedstawiono w Tabeli 28, natomiast oceny sumaryczne dla wszystkich ekspertów z uwzględnieniem sumarycznych wag kryteriów przedstawione są w Tabeli 29.

Tabela 28. Znormalizowane oceny wariantów dokonane przez eksperta 2

Kryterium	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
c_1	5,8	0	5,2	9
c_2	6,1	8,9	8,9	6,1
c_3	(3, 4, 5, 6)	(5, 6, 7, 8)	(5, 6, 7, 8)	(0, 0, 1, 2)
c_4	(5, 6, 7, 8)	(7, 8, 9, 9)	(5, 6, 7, 8)	(1, 2, 3, 4)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 29. Podsumowanie oceny wariantów

Kryterium	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
c_1	(76, 93, 116, 134)	(0, 0, 0, 0)	(67, 83, 103, 119)	(117, 144, 180, 207)
c_2	(85, 110, 134, 152)	(125, 160, 196, 223)	(125, 160, 196, 223)	(85, 110, 134, 152)
c_3	(45, 77, 117, 160)	(90, 132, 182, 232)	(54, 88, 130, 174)	(9, 22, 52, 87)
c_4	(52, 80, 120, 161)	(72, 104, 150, 184)	(45, 72, 110, 150)	(16, 32, 60, 92)
Razem	(258, 360, 487, 607)	(286, 396, 528, 639)	(291, 403, 539, 665)	(228, 308, 426, 538)

Źródło: opracowanie własne.

Defuzyfikacja ocen jest ostatnim krokiem w kierunku wdrożenia metody oceny wag wariantów. Dla przyjętych trapezoidalnych funkcji przynależności defuzyfikację można przeprowadzić metodą bisekcji zgodnie z wzorem:

$$\bar{u} = \frac{1}{4}(m + n + p + q) \quad (79)$$

Uzyskane wyniki przedstawiono w Tabeli 30.

Tabela 30. Wyniki defuzyfikacji przeprowadzonej metodą bisekcji

Kryterium	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
$\overline{ua}(v_j)$	428	462	475	375

Źródło: opracowanie własne.

Oznacza to, że według badanej grupy ekspertów preferencja wariantów modernizacji systemu HBSS w MPL Katowice jest następująca:

$$v_3 > v_2 > v_1 > v_4 \quad (80)$$

5.9. Eksperymenty symulacyjne

Powyższe obliczenia dotyczą decyzji modyfikujących system HBSS w sytuacji swobodnego wyboru, to znaczy nieobciążonej żadnymi dodatkowymi założeniami. Często jednak decyzje takie są dokonywane w związku z pewnymi przewidywanymi zmianami otoczenia, w którym funkcjonuje port lotniczy. Podobnie takie scenariusze rozwoju sytuacji zewnętrznej mogą działać powstrzymująco w odniesieniu do pewnych planowanych decyzji. Tutaj dokonana zostanie powtórna ocena przyjętych wariantów w obliczu pewnych scenariuszy zmian otoczenia organizacyjno-technicznego.

Scenariusz 1 – zwiększona częstość szkoleń

Jako pierwszy zostanie rozpatrzony przypadek wprowadzenia nowych przepisów odnośnie szkolenia OKB. Jak już wspomniano, w związku z dynamicznymi zmianami technologicznymi, a także zwiększającą się świadomością problemów bezpieczeństwa w ogóle, a bezpieczeństwa transportu lotniczego w szczególności, występują częste zmiany w przepisach regulujących pracę służb kontroli bezpieczeństwa. Jednym z możliwych kierunków zmian jest wprowadzenie konieczności częstszych szkoleń OKB. Dotyczy to zarówno szkoleń kompleksowych, jak i bieżących.

Scenariusz ten może spowodować zmiany w ocenie skuteczności poszczególnych wariantów, a także zmiany ich kosztów eksploatacji, wynikające z liczby wykorzystywanych OKB. Przyjęto, że proponowane zmiany w przepisach polegają na tym, że szkolenia kompleksowe będą się odbywać obowiązkowo co 18 miesięcy, zaś szkolenia bieżące co 3 miesiące. W Tabeli 31 zawarto nowe wartości ocen wariantów dla odpowiednich kryteriów.

Tabela 31. Scenariusz 1 – zmienione wartości ocen wariantów

		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
	Skuteczność	4,0	4,63	4,63	4,0
Ekspert 1		wysokie	niskie	średnie	wysokie
Ekspert 2	Koszty	średnie	niskie	średnie	bardzo wysokie
Ekspert 3	eksploatacji	średnie	średnie	wysokie	wysokie
Ekspert 4		wysokie	wysokie	bardzo wysokie	bardzo wysokie

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki oceny poszczególnych wariantów dla Scenariusza 1 przedstawione są w Tabeli 32.

Tabela 32. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 1

Kryterium	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
$\bar{u}_a(v_j)$	420	439	449	386

Źródło: opracowanie własne.

Scenariusz 2 – awaria sprzętu

Scenariusz 2 dotyczy sytuacji, w której następuje awaria urządzenia EDS wykorzystywanego na poziomie kontroli automatycznej, przy czym jest ona na tyle poważna, że urządzenie trzeba wycofać z eksploatacji. Ponieważ nie ma możliwości eksploatacji systemu HBSS bez kontroli automatycznej, zatem zakup nowego urządzenia jest niezbędny i należy przewidzieć, że nastąpi on w przypadku wariantów 1 i 4. W pozostałych dwóch wariantach zakup nie jest konieczny, gdyż może nastąpić zamiana urządzenia uszkodzonego na urządzenie wycofywane z poziomu kontroli specjalnej. Zmiana urządzenia na nowe powoduje również zmianę (poprawę) skuteczności. Jednocześnie założyć należy, że wydatek przeznaczony na zakup nowego urządzenia EDS na tyle silnie obciąża budżet służb kontroli bezpieczeństwa, że kryterium kosztowe nabiera większego znaczenia w ocenie wariantów.

W Tabeli 33 przedstawiono nowe wartości ocen wariantów dla odpowiednich kryteriów, zaś w Tabeli 34 nowe wartości ocen ważności kryteriów.

Tabela 33. Scenariusz 2 – zmienione wartości ocen wariantów

		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Skuteczność		3,6	4,47	4,47	3,6
Ekspert 1		wysokie	bardzo niskie	niskie	bardzo wysokie
Ekspert 2	Koszty	średnie	bardzo niskie	niskie	bardzo wysokie
Ekspert 3	eksploatacji	średnie	niskie	średnie	wysokie
Ekspert 4		wysokie	średnie	wysokie	bardzo wysokie

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 34. Scenariusz 2 – ekspercka ocena ważności poszczególnych kryteriów

	Przepustowość	Skuteczność	Wymagania infrastrukturalne	Koszt eksploatacji
Ekspert 1	<i>bardzo ważne</i>	<i>ważne</i>	<i>ważne</i>	<i>ważne</i>
Ekspert 2	<i>średnio ważne</i>	<i>bardzo ważne</i>	<i>ważne</i>	<i>średnio ważne</i>
Ekspert 3	<i>mało ważne</i>	<i>nieważne</i>	<i>średnio ważne</i>	<i>bardzo ważne</i>
Ekspert 4	<i>nieważne</i>	<i>nieważne</i>	<i>średnio ważne</i>	<i>bardzo ważne</i>

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki oceny poszczególnych wariantów dla Scenariusza 2 przedstawione są w Tabeli 35.

Tabela 35. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 2

Kryterium	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
$\overline{u\alpha}(v_j)$	429	528	522	365

Źródło: opracowanie własne.

Scenariusz 3 – wzrost zagrożenia terrorystycznego

Scenariusz 3 dotyczy sytuacji, w której spodziewamy się wzrostu zagrożenia terrorystycznego. Konieczne jest wówczas podejmowanie decyzji zwiększających skuteczność kontroli w horyzoncie długofalowym. Podobne działania należy podjąć w przypadku spodziewanych zmian w przepisach zmierzających do podniesienia minimalnych wymagań w procesie kontroli bagażu rejestrowanego. W proponowanym modelu odpowiada to zwiększeniu ważności kryterium skuteczności w stosunku do innych kryteriów. W Tabeli 36 przedstawiono nowe wartości ocen ważności kryteriów.

Tabela 36. Scenariusz 3 – ekspercka ocena ważności poszczególnych kryteriów

	Przepustowość	Skuteczność	Wymagania infrastrukturalne	Koszt eksploatacji
Ekspert 1	bardzo ważne	bardzo ważne	ważne	średnio ważne
Ekspert 2	mało ważne	bardzo ważne	mało ważne	nieważne
Ekspert 3	średnio ważne	ważne	ważne	bardzo ważne
Ekspert 4	nieważne	ważne	ważne	bardzo ważne

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki oceny poszczególnych wariantów dla Scenariusza 3 przedstawione są w Tabeli 37.

Tabela 37. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 3

Kryterium	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
$\bar{u}_a(v_j)$	489	564	562	423

Źródło: opracowanie własne.

Scenariusz 4 – wzrost wielkości ruchu

W scenariuszu 4 rozważana jest ocena wariantów modyfikacji systemu HBSS w warunkach spodziewanego wzrostu wielkości ruchu. W przypadku MPL Katowice notujemy stały wzrost liczby obsługiwanych pasażerów, zatem wszystkie działania modernizacyjne muszą w pewnym stopniu uwzględniać ten fakt. Jednak Scenariusz 4 dotyczy raczej sytuacji bardziej gwałtownego wzrostu wielkości ruchu, wynikającego na przykład z organizacji w pobliżu dużej imprezy sportowej rangi mistrzostw świata w popularnej dyscyplinie sportu. W takim przypadku ocena wariantów powinna zostać dokonana przy nieco większej ważności kryterium przepustowości i jednocześnie kryterium wymagań infrastrukturalnych. Należy się bowiem liczyć z zajęciem części przestrzeni terminalowej na dodatkową infrastrukturę związaną z innymi elementami procesu obsługi pasażerów, takimi jak stanowiska check-in czy stanowiska kontroli bezpieczeństwa bagażu podręcznego i osób. Oczywiście zwiększony ruch jest silnie skorelowany z większą liczbą kontrolowanych bagażu, zatem w tym przypadku należy również uwzględnić konieczność zatrudnienia dodatkowych OKB, co będzie powodowało zmianę kosztów eksploatacji. W Tabeli 38 przedstawiono nowe wartości ocen wariantów dla kryterium kosztów eksploatacji, zaś w Tabeli 39 nowe wartości ocen ważności kryteriów.

Tabela 38. Scenariusz 4 – zmienione wartości ocen wariantów

		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Ekspert 1		wysokie	niskie	wysokie	wysokie
Ekspert 2	Koszty	średnie	niskie	wysokie	wysokie
Ekspert 3	eksploatacji	średnie	średnie	bardzo wysokie	średnie
Ekspert 4		średnie	wysokie	bardzo wysokie	bardzo wysokie

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 39. Scenariusz 4 – ekspercka ocena ważności poszczególnych kryteriów

	Przepustowość	Skuteczność	Wymagania infrastrukturalne	Koszt eksploatacji
Ekspert 1	bardzo ważne	średnio ważne	ważne	nieważne
Ekspert 2	bardzo ważne	ważne	ważne	nieważne
Ekspert 3	bardzo ważne	nieważne	bardzo ważne	średnio ważne
Ekspert 4	ważne	nieważne	bardzo ważne	średnio ważne

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki oceny poszczególnych wariantów dla Scenariusza 4 przedstawione są w Tabeli 40.

Tabela 40. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 4

Kryterium	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
$\bar{u}_a(v_j)$	427	364	430	440

Źródło: opracowanie własne.

5.10. Analiza wyników

W Scenariuszu 1, w którym porównywane były warianty przy wiedzy, że nastąpi zwiększenie częstości szkoleń, relacja preferencji wariantów jest taka sama jak w wariancie podstawowym. Jednak możemy zauważyć zmniejszenie różnic pomiędzy ocenami poszczególnych wariantów. Wynika to z faktu, że najbardziej preferowany wariant 3 przewiduje dużą liczbę zatrudnionych operatorów kontroli bezpieczeństwa, dla których trzeba będzie przeprowadzać częstsze szkolenia. Ciekawa relacja daje się zauważyć między wariantami 1 i 4. W obu przypadkach mamy do czynienia z zauważalną poprawą skuteczności, jednak tylko wariant 4 zyskał na

ocenie całkowitej, mimo że w obu potrzebna jest podobna liczba operatorów kontroli bezpieczeństwa. Dzieje się tak dlatego, że wszyscy eksperci zmienili ocenę wielkości kosztów w wariancie 1. Z kolei w wariancie 4 dwóch ekspertów oceniło koszty, używając tej samej zmiennej lingwistycznej – argumentując, że koszt dodatkowych szkoleń jest stosunkowo niewielki w porównaniu z innymi kosztami wynikającymi z wdrożenia tego wariantu.

W Scenariuszu 2 rozpatrywany był problem podejmowania decyzji o modernizacji systemu w sytuacji awarii urządzenia EDS na poziomie kontroli automatycznej. Zgodnie z oczekiwaniem, zwiększenie kosztów w wariantach 1 i 4, a także zwiększenie ważności kryterium kosztów eksploatacji, spowodowało względnie większą atrakcyjność wariantów 2 i 3. Nie niweluje tego efektu wzrost skuteczności kontroli w wariantach 1 i 4 wynikający z wymiany urządzenia. Jest jednak faktem, że ten wzrost skuteczności jest niewielki.

Warto zauważyć, że w Scenariuszu 2 dochodzi do zmiany relacji preferencji wariantów, która w tym przypadku wygląda następująco

$$v_2 > v_3 > v_1 > v_4 \quad (81)$$

W tym przypadku ujawniła się cecha wariantu 2 polegająca na tym, że wymaga on zatrudnienia mniejszej liczby operatorów kontroli bezpieczeństwa i tym samym nieco niższych kosztów eksploatacji niż w wariancie 3. W sytuacji, kiedy czynnik kosztowy zaczyna odgrywać większą rolę, może to wskazywać na konieczność podjęcia innej decyzji niż w wariancie podstawowym.

Scenariusz 3 dotyczył podejmowania decyzji o modernizacji w sytuacji pozyśkania informacji o zwiększającym się zagrożeniu terrorystycznym. W tym przypadku również mamy do czynienia ze zmianą preferencji wariantów, w sposób analogiczny jak w Scenariuszu 2, jednak różnica między wariantami 2 i 3 jest minimalna. Oczywiście ponieważ warianty te mają wyższą skuteczność niż pozostałe, zatem ich oceny wzrastają znacząco w stosunku do wariantu podstawowego. Warto także zauważyć, że w Scenariuszu 3 eksperci nie tylko podwyższyli znacząco wagi kryterium skuteczności, ale dokonali także zmian w ocenie ważności innych kryteriów. Wpływ na to miała z kolei świadomość konieczności działania w innych warunkach niż normalnie.

Rozważany w Scenariuszu 4 znaczący wzrost wielkości ruchu i związany z tym większy nacisk na rozwiązanie zwiększające przepustowość, a jednocześnie uwzględniające wymagania infrastrukturalne, powoduje znacznie lepszą ocenę wariantu 4, w którym przepustowość jest największa. Efekt ten jest wzmacniany faktem, że wariant 4 ma jednocześnie umiarkowane wymagania infrastrukturalne. Warianty 2 i 3 (a także w pewnym stopniu wariant 1) uzyskują niższą ocenę także ze względu na występującą w tym przypadku konieczność zatrudnienia

dodatkowych OKB do obsługi zwiększonego ruchu, co zwiększa koszty. W stosunku do podstawowego problemu decyzyjnego następuje tu wyraźna zmiana relacji preferencji, która w tym przypadku jest następująca

$$v_4 > v_3 > v_1 > v_2 \quad (82)$$

W wariancie 4 większość kontroli jest wykonywana przez urządzenia automatyczne, zatem nie ma potrzeby istotnego zwiększania zatrudnienia. Podobnie jak w Scenariuszu 3 modyfikacja wag kryteriów jest nieco bardziej złożona, niż proste zwiększenie wagi najważniejszych kryteriów. Biorąc pod uwagę zmienione warunki operacyjne, eksperci dokonują zapewne przewartościowania swoich ocen, co znajduje odzwierciedlenie w wagach przypisywanych kryteriom.

6. System wspomaganie wyboru wariantu organizacji kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym

6.1. Wprowadzenie

Istotną rolę zarządzającego portem lotniczym jest dokonanie oceny skuteczności Systemu Zabezpieczeń Portu Lotniczego (SZPL). Na system ten składają się: kontrola bagażu i osób oraz kontrola zewnętrzna przed wtargnięciem i działaniem nieuprawnionych osób na terenie lotniska. Można je analizować, wykorzystując standardowe metody oceny ryzyka (Tamasi & Demichela, 2011). Niestety, ze względu na trudności w ilościowym szacowaniu prawdopodobieństw zdarzeń, rozważania te prowadzone są na wysokim stopniu ogólności. W niniejszej pracy zaprezentowane jest inne podejście – zrezygnowano z określania prawdopodobieństw zdarzeń na rzecz szacowania skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego, z wykorzystaniem ocen eksperckich.

Dokonano tutaj analizy procesu kontroli bagażu rejestrowanego, czyli przewożonego w luku bagażowym samolotu, po dokonaniu kontroli biletowo-bagażowej (check-in). Skuteczność systemu kontroli jest rozumiana w tej pracy jako zdolność do wykrycia wszystkich przedmiotów zabronionych, które mogłyby zostać użyte do dokonania aktu bezprawnej ingerencji. Jest ona traktowana jako miara poziomu bezpieczeństwa ruchu lotniczego w tym zakresie.

System wspomaganie wyboru wariantu organizacji systemu kontroli bagażu rejestrowanego pozwala na uwzględnienie w analizie kilku możliwych wariantów organizacji procesu kontroli, które do tej pory były uwzględnione w literaturze wyłącznie pod kątem ich przepustowości, a nie gwarantowanego przez nie bezpieczeństwa przewozu (Butler & Poole, 2002; Leone & Liu, 2005). Ponadto dzięki zastosowaniu systemów wnioskowania rozmytego dokonano łącznej analizy czynnika ludzkiego i technicznego. Skuteczność działania człowieka jest oceniana z wykorzystaniem nowej metody analizy błędów popełnianych przez operatorów kontroli bezpieczeństwa OKB. Metoda ta wykorzystuje pomiary przeprowadzone na próbie 93 pracowników dokonujących kontroli bagażu z wykorzystaniem urządzeń rentgenowskich w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Katowice-Pyrzowice.

Przy ocenie czynnika technicznego (skuteczności urządzeń) zastosowano również system wnioskowania rozmytego, wykorzystujący zarówno oceny eksperckie, jak i pomiary rzeczywistych parametrów stosowanych urządzeń.

W efekcie prowadzonych badań stworzono narzędzie komputerowe (program RBES), które umożliwia ocenę skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego przy uwzględnieniu czynnika ludzkiego. Wszystkie obliczenia i przykłady zostały opracowane na podstawie danych rzeczywistych, pochodzących z pomiarów przeprowadzonych na lotniskach w Polsce.

Praca ta jest kontynuacją pracy (Skorupski & Uchroński, 2014a), w której w podobny sposób dokonano oceny skuteczności rentgenowskich urządzeń do prześwietlania bagażu. W tej pracy wykorzystano uzyskane tam wyniki jako jedną z wielkości wejściowych modelu.

6.2. Model do oceny systemu kontroli bagażu rejestrowanego

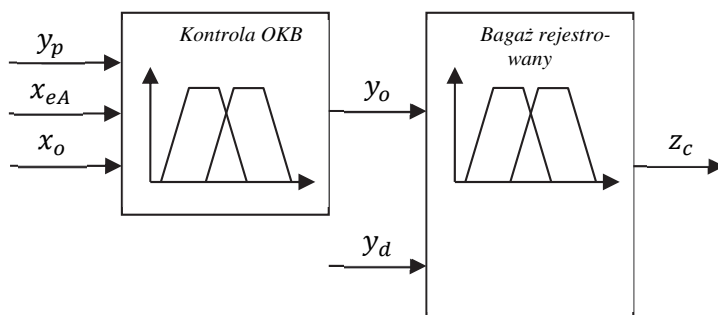
Ocena skuteczności systemu kontroli bagażu rejestrowanego (model *Bagaż rejestrowany*) jest zależna od dwóch czynników: od skuteczności urządzeń rentgenowskich stosowanych do prześwietlania zawartości bagażu (zmienna *Ocena urządzenia*) oraz od skuteczności kontroli wykonywanej w punkcie kontroli bezpieczeństwa (PKB), w szczególności z udziałem operatorów kontroli bezpieczeństwa (zmienna *Kontrola OKB*). Oba te czynniki są wielkościami niedającymi się opisać w sposób precyzyjny; zależą od wielu subiektywnych i niepewnych zmiennych wejściowych. Są one wyjściami z innych modeli lokalnych reprezentowanych przez systemy wnioskowania rozmytego. Ogólną strukturę modelu przedstawiono na Rysunku 32.

Zmienna *Ocena urządzenia* jest zależna od takich parametrów jak: zdolność do wykrywania materiałów niebezpiecznych, liczba generatorów obrazu, jakość systemu projekcji obrazów wirtualnych zagrożeń (TIP) oraz wiek urządzenia. Elementy te tworzą dwustopniową, rozmytą strukturę hierarchiczną.

Z kolei zmienna *Kontrola OKB* dotyczy skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego, wykonywanej w PKB z udziałem człowieka. Jej istotą jest odpowiedź na pytanie, na ile OKB wyposażony we wsparcie techniczne oraz działający w określonym otoczeniu organizacyjnym jest w stanie wykryć wszystkie przedmioty zabronione do przewozu. Zdolność ta zależna jest od kilku różnych wielkości. Do najważniejszych, uwzględnionych w tym modelu, należą: *Ocena pracownika*, *Błędy typu A* oraz *Wariant organizacji kontroli*. Pierwsza z nich charakteryzuje potencjał OKB wynikający z jego wykształcenia, doświadczenia oraz ogólnego nastawienia do wykonywanej pracy. Druga pokazuje rzeczywistą skuteczność OKB. Wykorzystuje się przy tym pomiary liczby błędów popełnianych na stanowisku

pracy podczas bieżącej kontroli bagażu. Trzecia zmienna uwzględnia stopień wykorzystania OKB w procesie kontroli, a więc skalę możliwych do popełnienia błędów ludzkich.

Rysunek 32. Schemat rozmytego modelu do oceny systemu kontroli bagażu rejestrowanego



Źródło: opracowanie własne.

Model lokalny *Bagaż rejestrowany* ma dwie zmienne wejściowe. Zarówno zmienna lingwistyczna wejściowa *Kontrola OKB* (y_o), jak i zmienna lingwistyczna wejściowa *Ocena urządzenia* (y_d) są w istocie wyjściami z innych modeli lokalnych reprezentowanych przez systemy wnioskowania rozmytego. Natomiast zmienna *Ocena urządzenia* (y_d) jest zależna od takich parametrów jak: zdolność do wykrywania materiałów niebezpiecznych, liczba generatorów obrazu, jakość systemu projekcji obrazów wirtualnych zagrożeń (TIP) oraz wiek urządzenia. Elementy te tworzą dwustopniową, rozmytą strukturę hierarchiczną, którą opisano szczegółowo w (Skorupski & Uchroński, 2014a). Przedstawiono tutaj zidentyfikowane parametry trapezowych funkcji przynależności oraz rozmyte reguły decyzyjne dwóch podmodeli lokalnych *Ocena TIP* i *Ocena urządzenia*. W efekcie uzyskano hierarchiczny system wnioskowania rozmytego, który pozwala na ocenę zarówno pojedynczego urządzenia RTG, jak i grupy takich urządzeń pod względem skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych.

6.3. Dobór wariantu organizacji kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym

Opisany proces kontroli uwzględnia wszystkie dostępne poziomy kontroli. W rozwiązaniach praktycznych system BHS może również funkcjonować w wersji uproszczonej. Biorąc pod uwagę ocenę skuteczności kontroli, przyjmiemy do rozważań pięć wariantów organizacji kontroli.

Wariant pierwszy odpowiada sytuacji, gdy całość kontroli jest wykonywana automatycznie, bez kontroli manualnej czy analizy obrazu dokonywanej przez OKB (wyłącznie poziom 1). Te bagaże, które system EDS oznaczy jako „czyste” – są kierowane do samolotu, te których nie oznaczy – zostają wykluczone z przewozu. Jest to wariant teoretyczny, niemożliwy do zastosowania w praktyce, bo zbyt dużo bagażu (około 30%) miałyby odmowę przewozu. Jest to jednak bardzo dobry wariant odniesienia, bo jest najbezpieczniejszy, gdyż wszystkie bagaże, co do których istnieje choćby najmniejsza wątpliwość, nie są ładowane do samolotu. Dodatkowo w wariantcie tym bezpieczeństwo nie zależy zupełnie od czynnika ludzkiego, który jak wiadomo jest najsłabszy. W tym przypadku skuteczność kontroli zależy wyłącznie od skuteczności urządzenia dokonującego kontroli automatycznej.

Wariant drugi odpowiada organizacji składającej się z kontroli automatycznej i manualnej. Nawiązując do Rysunku 2 – jest to wariant składający się z poziomu 1 i poziomu 4. Skuteczność tego rozwiązania jest zależna wyłącznie od jakości urządzenia i jakości kontroli manualnej, czyli od *Oceny pracownika*. Nie ma w tym przypadku kontroli realizowanej przez OKB na urządzeniu rentgenowskim, więc w rozmytych regułach decyzyjnych zmienna *Błędy typu A* nie jest brana pod uwagę przy ocenie skuteczności kontroli bagażu.

Wariant trzeci polega na kontroli automatycznej, kontroli wykonywanej przez OKB z wykorzystaniem urządzeń RTG/EDS (poziom 2) i kontroli manualnej. Do oceny tego wariantu będziemy używać także zmiennej *Błędy typu A*, zmniejsza się natomiast rola zmiennej *Ocena pracownika*, gdyż mniej bagażu jest kontrolowanych ręcznie, bo część jest dopuszczana do przewozu przez OKB w ramach poziomu 2.

Wariant czwarty odpowiada pełnemu cyklowi opisanemu we wcześniejszych wariantach. Składa się z kontroli automatycznej, dwóch poziomów kontroli z udziałem człowieka wykorzystującego urządzenia RTG/EDS (poziom 2 i 3) oraz kontroli manualnej. W tym rozwiązaniu prawie wszystkie bagaże są dopuszczane do przewozu automatycznie lub na podstawie decyzji OKB, który podejmuje ją, wykorzystując obrazy na prześwietlarkach. W ocenie skuteczności tego wariantu rola zmiennej *Błędy typu A* jest duża, natomiast zmiennej *Ocena pracownika* jest mniejsza, bo już tylko nieliczne bagaże są kontrolowane manualnie.

Wariant piąty polega na tym, że nie stosuje się kontroli automatycznej, a wyłącznie kontrolę wykonywaną przez OKB na prześwietlarkach. W ocenie tego wariantu organizacji mamy do czynienia z najwyższą wagą zmiennej *Błędy typu A* i niewielką wagą zmiennej *Ocena pracownika*.

Jednym z obszarów zastosowania opracowanej metody jest dobór wariantu organizacji systemu kontroli bagażu. Jest to w istocie zagadnienie wielokryterialne.

Oprócz oczywistego kryterium kosztowego decydenci zazwyczaj podejmują decyzję na podstawie analizy przewidywanej wielkości ruchu lotniczego oraz przepustowości rozpatrywanego wariantu organizacji systemu BHS. Nie są natomiast w stanie uwzględnić przy podejmowaniu decyzji jakże istotnego kryterium, jakim jest bezpieczeństwo ruchu lotniczego, wyrażone skutecznością wykrywania przedmiotów zabronionych.

W Tabeli 41 przedstawiono, jak zmienia się skuteczność systemu kontroli bagażu rejestrowanego w zależności od przyjętego wariantu organizacji kontroli, przy niezmiennych pozostałych zmiennych wejściowych. Wybrano przy tym rzeczywistą konfigurację zastosowaną w MPL Katowice-Pyrzowice, w której:

- ocena pracowników przyjmuje wartość 4,46 (w skali od 0 do 5),
- liczba błędów typu A wynosi 13,55%,
- wariant organizacji kontroli przyjmuje wartości od 1 do 5, zgodnie z numeracją zastosowaną powyżej.

Tabela 41. Ocena wpływu wariantu organizacji kontroli na skuteczność kontroli

Wariant organizacji kontroli	1	2	3	4	5
Kontrola OKB	bardzo wysoka	bardzo wysoka	wysoka	średnia	średnia

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki przedstawione w Tabeli 41, uzyskane z wykorzystaniem wyżej omówionego modelu, pokazują wyraźnie wpływ wariantu organizacji kontroli na jej skuteczność. Wariant pierwszy (w pełni automatyczny) przy obecnych standardach urządzeń EDS nie może być stosowany, mimo bardzo wysokiej oceny skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych. Mamy w nim bowiem do czynienia ze zbyt dużym odsetkiem bagażu, których nie dopuszcza się do przewozu. Wariant drugi może być stosowany, jednak charakteryzuje się niską przepustowością, gdyż wszystkie bagaże zakwestionowane przez system automatyczny poddawane są kontroli manualnej, która jest pracochłonna i czasochłonna. Może więc być stosowany tylko na małych lotniskach regionalnych o niewielkim ruchu. Wariant trzeci łączy w sobie zarówno kontrolę automatyczną, na prześwietlarkach jak i manualną. Charakteryzuje się dobrą skutecznością (ocena *wysoka*) i jednocześnie wykorzystuje dostępne środki techniczne pozwalające na zdalną kontrolę bagażu, a tym samym zwiększa przepustowość systemu BHS. Wariant czwarty ma najwyższą przepustowość, jednak ze względu na bardzo dużą rolę czynnika ludzkiego w procesie oceny bagażu przy wykorzystaniu prześwietlarek rentgenowskich, obniżeniu ulega ocena skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych (ocena

średnia). Wariant piąty, w którym całość procesu oceny wykonywana jest przez OKB, również charakteryzuje się średnim poziomem skuteczności ochrony.

6.4. System wnioskowania rozmytego do oceny przepustowości i skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym

6.4.1. Ogólna struktura modelu rozmytego *Kontrola OKB*

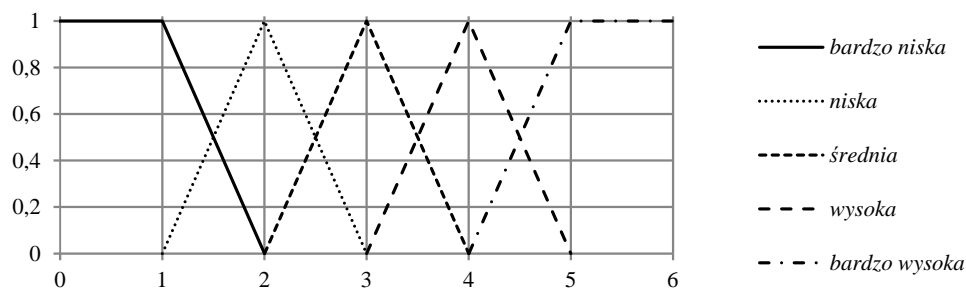
Omawiany w tym rozdziale model lokalny *Kontrola OKB* dotyczy skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego, wykonywanej w PKB z udziałem człowieka. Jego istotą jest odpowiedź na pytanie, na ile OKB wyposażony we wsparcie techniczne oraz działający w określonym otoczeniu organizacyjnym jest w stanie wykryć wszystkie przedmioty zabronione do przewozu. Zdolność ta zależy od kilku różnych wielkości. Do najważniejszych, uwzględnionych w tym modelu, należą: *Ocena pracownika* (y_p), *Błędy typu A* (x_{eA}) oraz *Wariant organizacji kontroli* (x_o). Pierwsza z nich charakteryzuje potencjał OKB wynikający z jego wykształcenia, doświadczenia oraz ogólnego nastawienia do wykonywanej pracy. Druga pokazuje rzeczywistą skuteczność OKB. Wykorzystuje się przy tym pomiary liczby błędów popełnianych na stanowisku pracy podczas bieżącej kontroli bagażu. Trzecia zmienna uwzględnia stopień wykorzystania OKB w procesie kontroli, a więc skalę możliwych do popełnienia błędów ludzkich.

Ogólny schemat rozmytego modelu *Kontrola OKB* przedstawiono na Rysunku 33. Wielkością wyjściową z modelu jest zmienna lingwistyczna (y_o), charakteryzująca skuteczność pracownika lub grupy pracowników realizujących kontrolę bagażu rejestrowanego z wykorzystaniem przegładek RTG w wykrywaniu przedmiotów zabronionych.

Zmienna wejściowa Ocena pracownika

Skuteczność OKB w wykrywaniu przedmiotów zabronionych zależy od wielu różnych czynników. Do najważniejszych, uwzględnionych w omawianym modelu, należą: doświadczenie, czas od ostatniego szkolenia kompleksowego, czas od ostatniego szkolenia bieżącego oraz nastawienie do wykonywanej pracy. Wszystkie one stanowią zmienne wejściowe do lokalnego modelu rozmytego, którego wyjściem jest zmienna lingwistyczna *Ocena pracownika*. Szczegóły tego modelu zawarto w (Skorupski & Uchroński, 2014b). Zmienna lingwistyczna *Ocena pracownika* (y_p) traktowana jest jako wejście do modelu *Kontrola OKB*. Opisuje ona potencjał pracownika i jest wykorzystywana głównie przy analizie skuteczności kontroli manualnej. Może ona przyjąć pięć różnych wartości, których funkcje przynależności zostały przedstawione na Rysunku 33.

Rysunek 33. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej
Ocena pracownika



Źródło: opracowanie własne.

Operatorzy kontroli bezpieczeństwa często wykonują swoją pracę w grupie. W takiej sytuacji konieczne jest wykorzystanie w modelu zagregowanej oceny całej grupy OKB (oznaczanej jako y_{DP}). Ocena zagregowana jest obliczana jako średnia ważona ocen poszczególnych członków grupy. Waga oceny każdego z OKB jest określana na podstawie liczby skontrolowanych przez niego bagaży w stosunku do całkowitej liczby bagaży skontrolowanych przez grupę.

Zmienna wejściowa Wariant organizacji kontroli

Opisany powyżej proces kontroli uwzględnia wszystkie dostępne poziomy kontroli. W rozwiązaniach praktycznych system BHS może również funkcjonować w wersji uproszczonej. Biorąc pod uwagę ocenę skuteczności kontroli, przyjmujemy do rozważań pięć wariantów organizacji kontroli. Odpowiadają one pięciu wartościom zmiennej lingwistycznej *Wariant organizacji kontroli* (x_o), traktowanym jako rozmyte singletony.

Wariant pierwszy ($x_o = 1$) odpowiada sytuacji, gdy całość kontroli jest wykonywana automatycznie, bez kontroli manualnej czy analizy obrazu dokonywanej przez OKB (wyłącznie poziom 1). Te bagaże, które system EDS oznaczy jako „czyste” – są kierowane do samolotu, te, których nie oznaczy – zostają wykluczone z przewozu. Jest to wariant teoretyczny, niemożliwy do zastosowania w praktyce, bo zbyt dużo bagaży (około 30%) miałyby odmowę przewozu. Jest to jednak bardzo dobry wariant odniesienia, bo jest najbezpieczniejszy, bowiem wszystkie bagaże, co do których jest choćby najmniejsza wątpliwość, nie są ładowane do samolotu. Dodatkowo w wariantcie tym bezpieczeństwo nie zależy zupełnie od czynnika ludzkiego, który jak wiadomo jest najsłabszy. W tym przypadku skuteczność kontroli zależy wyłącznie od skuteczności urządzenia dokonującego kontroli automatycznej (Skorupski & Uchroński, 2014a; Wetter, 2013).

Wariant drugi ($x_o = 2$) odpowiada organizacji składającej się z kontroli automatycznej i manualnej. Nawiązując do Rysunku 32 – jest to wariant składający się z poziomu 1 i poziomu 4. Skuteczność tego rozwiązania jest zależna wyłącznie od jakości urządzenia oraz jakości kontroli manualnej, czyli od *Oceny pracownika* (y_p). Nie ma w tym przypadku kontroli realizowanej przez OKB na urządzeniu rentgenowskim, więc w rozmytych regułach decyzyjnych zmienna *Błędy typu A* (x_{eA}) nie jest brana pod uwagę przy ocenie skuteczności kontroli bagażu.

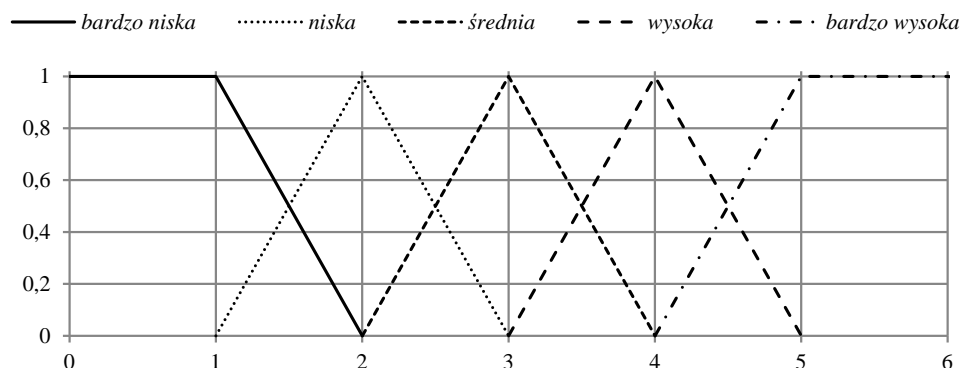
Wariant trzeci ($x_o = 3$) polega na kontroli automatycznej, kontroli wykonywanej przez OKB z wykorzystaniem urządzeń RTG/EDS (poziom 2) i kontroli manualnej. Do oceny tego wariantu będziemy używać także zmiennej *Błędy typu A* (x_{eA}), zmniejsza się natomiast rola zmiennej *Ocena pracownika* (y_p), gdyż mniej bagażu jest kontrolowanych ręcznie, bo część jest dopuszczana do przewozu przez OKB w ramach poziomu 2.

Wariant czwarty ($x_o = 4$) odpowiada pełnemu cyklowi opisanemu powyżej. Składa się z kontroli automatycznej, dwóch poziomów kontroli z udziałem człowieka wykorzystującego urządzenia RTG/EDS (poziom 2 i 3) oraz kontroli manualnej. W tym rozwiązaniu prawie wszystkie bagaże są dopuszczane do przewozu automatycznie lub na podstawie decyzji OKB, który podejmuje ją, wykorzystując obrazy na prześwietlarkach. W ocenie skuteczności tego wariantu rola zmiennej x_{eA} jest duża, natomiast zmiennej y_p jest mniejsza, bo już tylko nieliczne bagaże są kontrolowane manualnie.

Wariant piąty ($x_o = 5$) polega na tym, że nie stosuje się kontroli automatycznej, a wyłącznie kontrolę wykonywaną przez OKB na prześwietlarkach. W ocenie tego wariantu organizacji mamy do czynienia z najwyższą wagą zmiennej *Błędy typu A* i niewielką wagą zmiennej *Ocena pracownika*.

Zmienna wyjściowa Kontrola OKB

Zmienna wyjściowa rozmytego modelu wnioskowania *Kontrola OKB* może przyjąć pięć różnych wartości, których funkcje przynależności zostały przedstawione na Rysunku 34.

Rysunek 34. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej *Kontrola OKB*

Źródło: opracowanie własne.

System wnioskowania rozmytego uzupełniają rozmyte reguły wnioskowania. Pochodzą one od grupy ekspertów – doświadczonych OKB oraz osób zarządzających organizacją procesu kontroli bezpieczeństwa bagażu. Reguł tych zdefiniowano 37, niektóre z nich zostały przedstawione w Tabeli 42.

Tabela 42. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu *Kontrola OKB*

Reguła	Wariant organizacji kontroli	Błędy typu A	Ocena pracownika	Kontrola OKB
1	1	dowolne	dowolna	bardzo wysoka
4	2	dowolne	średnia	wysoka
16	3	średni	bardzo wysoka	wysoka
29	4	duży	≠ bardzo wysoka	bardzo niska
31	5	mały	≠ bardzo niska	średnia

Źródło: opracowanie własne.

6.4.2. Walidacja modelu *Kontrola OKB*

W tym rozdziale przedstawiony zostanie proces walidacji modelu. Wykorzystano do tego celu oszacowanie statystyczne wartości oczekiwanej liczby bagażu z zabronioną zawartością, przy różnych wartościach wejściowych zmiennych lingwistycznych. Wyniki tego szacowania zostały porównane z ocenami eksperckimi.

W pierwszym kroku walidacji dokonano oszacowania wartości skrajnych liczby bagażu zawierających przedmioty zabronione dopuszczonych do przewozu. Obliczenia przeprowadzono dla partii 1000 bagażu, przyjmując, że system automatycznej kontroli zawartości bagażu oznacza 70% bagażu jako czyste, a do innych poziomów kontroli kierowanych jest 300 bagażu. Tak jak to zostało wcześniej zasygnalizowane, przyjęto, że system automatyczny nie popełnia błędów polegających na dopuszczeniu do przewozu bagażu z zabronioną zawartością, zaś wszystkie bagaże zakwestionowane przez system automatyczny naprawdę zawierają przedmioty zabronione.

Z powyższych rozważań wynika, że najbezpieczniejszy jest pierwszy wariant organizacji kontroli ($x_o = 1$). W efekcie jego stosowania na pokład samolotu nie dostają się w ogóle przedmioty zabronione. Z kolei najgorszy przypadek ma miejsce wówczas, gdy stosujemy wyłącznie kontrolę z udziałem OKB (piąty wariant organizacji kontroli $x_o = 5$), którzy popełniają dużo błędów typu A ($x_{eA} = \text{duży}$) i są pracownikami o bardzo niskiej ocenie ogólnej ($y_p = \text{bardzo niska}$). Jako reprezentanta wartości $x_{eA} = \text{duży}$ przyjęto wartość 26% błędów typu A. Natomiast określenie liczby błędów popełnianych podczas kontroli manualnej przez OKB zostało dokonane na podstawie badań ankietowych, których cząstkowe wyniki zostały przedstawione w Tabeli 43.

Tabela 43. Oszacowanie liczby błędów popełnianych przez OKB przy kontroli manualnej

Ocena pracownika	Błędy przy kontroli manualnej [%]				
	Ekspert 1	Ekspert 2	Ekspert 3	Ekspert 4	Średnia
<i>bardzo niska</i>	12	9	29	10	18
<i>niska</i>	10	7	22	8	14
<i>średnia</i>	8	5	15	6	10
<i>wysoka</i>	6	3	8	4	6
<i>bardzo wysoka</i>	4	1	1	2	3

Źródło: opracowanie własne.

Ostatecznie do określenia wariantu najgorszego przyjęto, że pracownik o ocenie *bardzo niska* popełnia 20% błędów przy kontroli manualnej. W wariantcie piątym organizacji kontroli, w przypadku ogólnym, następuje dwukrotna kontrola: z użyciem przeglądarki RTG oraz manualna. Każda z tych czynności ma w sobie potencjał do popełnienia błędów, zatem w skrajnie negatywnym przypadku spośród 300 bagażu zawierających przedmioty zabronione, 169 zostanie dopuszczonych na pokład samolotu. Te dwie skrajne wartości (0 bagażu i 169 bagażu) posłużyły do stworzenia skali do walidacji modelu (Tabela 44).

Tabela 44. Skala ocen modelu *Kontrola OKB* na podstawie szacowania błędów (do walidacji)

<i>Kontrola OKB</i>	Szacunkowa liczba dopuszczonych bagaży z zabronioną zawartością (w próbie 300 szt.)
<i>bardzo niska</i>	148
<i>niska</i>	127
<i>średnia</i>	84,5
<i>wysoka</i>	42
<i>bardzo wysoka</i>	21

Źródło: opracowanie własne.

Następnie dla poszczególnych reguł i odpowiadających im wartości zmiennej *Kontrola OKB* wyznaczono szacunkową liczbę popełnianych błędów i porównano ze skalą przedstawioną w Tabeli 44. Wyniki tego porównania zamieszczono w Tabeli 45.

Tabela 45. Walidacja modelu *Kontrola OKB*

Reguła	<i>Kontrola OKB</i>	Liczba błędów	Ocena według skali (tab. 10)
1	<i>bardzo wysoka</i>	0	<i>bardzo wysoka</i>
2	<i>średnia</i>	54	<i>średnia/wysoka</i>
3	<i>wysoka</i>	42	<i>wysoka</i>
4	<i>wysoka</i>	30	<i>wysoka/bardzo wysoka</i>
5	<i>bardzo wysoka</i>	18	<i>bardzo wysoka</i>
6	<i>bardzo wysoka</i>	9	<i>bardzo wysoka</i>
7	<i>średnia</i>	84	<i>średnia</i>
8	<i>średnia</i>	73	<i>średnia</i>
9	<i>wysoka</i>	62	<i>wysoka/średnia</i>
10	<i>wysoka</i>	52	<i>wysoka</i>
11	<i>wysoka</i>	44	<i>wysoka</i>
12	<i>niska</i>	101	<i>niska/średnia</i>
13	<i>średnia</i>	91	<i>średnia</i>
14	<i>średnia</i>	81	<i>średnia</i>
15	<i>średnia</i>	72	<i>średnia</i>
16	<i>wysoka</i>	64	<i>wysoka/średnia</i>
17	<i>niska</i>	118	<i>niska</i>
18	<i>niska</i>	109	<i>niska/średnia</i>

Reguła	Kontrola OKB	Liczba błędów	Ocena według skali (tab. 10)
19	<i>średnia</i>	100	<i>średnia/niska</i>
20	<i>średnia</i>	91	<i>średnia</i>
21	<i>średnia</i>	85	<i>średnia</i>
22	<i>niska</i>	109	<i>niska</i>
23	<i>średnia</i>	100–75	<i>średnia</i>
24	<i>bardzo niska</i>	139	<i>bardzo niska</i>
25	<i>niska</i>	131	<i>niska</i>
26	<i>niska</i>	123	<i>niska</i>
27	<i>średnia</i>	115	<i>średnia/niska</i>
28	<i>średnia</i>	109	<i>średnia/niska</i>
29	<i>bardzo niska</i>	141–169	<i>bardzo niska</i>
30	<i>niska</i>	109	<i>niska/średnia</i>
31	<i>średnia</i>	100–75	<i>średnia</i>
32	<i>bardzo niska</i>	139	<i>bardzo niska</i>
33	<i>niska</i>	131	<i>niska</i>
34	<i>niska</i>	123	<i>niska</i>
35	<i>średnia</i>	115	<i>średnia/niska</i>
36	<i>średnia</i>	109	<i>średnia/niska</i>
37	<i>bardzo niska</i>	141–169	<i>bardzo niska</i>

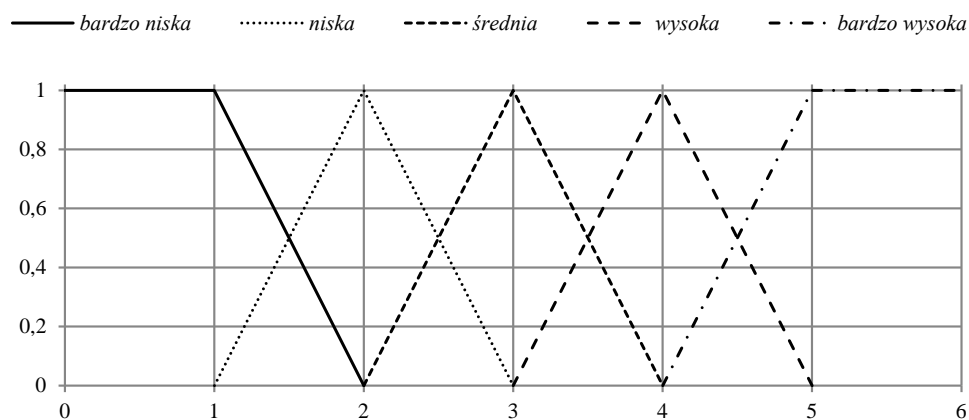
Źródło: opracowanie własne.

Jak widać, wartości w kolumnie *Kontrola OKB* (pochodzące z reguł stworzonych przez ekspertów) oraz w kolumnie *Ocena według skali* (pochodzące z oszacowania statystycznego) wykazują doskonałą zgodność. W niektórych przypadkach wartości z oszacowania statystycznego znajdowały się pomiędzy wartościami określonymi przez skalę z Tabeli 45. Jednak w każdym z tych przypadków wartość pochodząca od ekspertów koresponduje z wynikami z obliczeń. Dowodzi to poprawności stworzonego modelu.

6.4.3. Zmienna wyjściowa *Bagaż rejestrowany*

Zmienna wyjściowa rozmytego modelu wnioskowania *Bagaż rejestrowany* jest zależna od dwóch wejść: *Kontrola OKB* oraz *Ocena urządzenia*. Sposób wyznaczania tej drugiej wielkości został opisany w (Skorupski & Uchroński, 2014a). Może ona przyjąć pięć różnych wartości, których funkcje przynależności zostały przedstawione na Rysunku 35. Analogiczną postać przyjmują funkcje przynależności wyjściowej zmiennej lingwistycznej modelu *Bagaż rejestrowany*.

Rysunek 35. Funkcje przynależności zmiennych lingwistycznych
Ocena urządzenia oraz Bagaż rejestrowany



Źródło: opracowanie własne.

System wnioskowania rozmytego uzupełniają rozmyte reguły wnioskowania, sformułowane przez grupę ekspertów – praktyków zajmujących się zarządzaniem procesem kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego. Reguł tych zdefiniowano 25, niektóre z nich zostały przedstawione w Tabeli 46.

Tabela 46. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu
Bagaż rejestrowany

Reguła	<i>Ocena urządzenia</i>	<i>Kontrola OKB</i>	<i>Bagaż rejestrowany</i>
3	<i>średnia</i>	<i>bardzo niska</i>	<i>niska</i>
9	<i>wysoka</i>	<i>niska</i>	<i>średnia</i>
11	<i>bardzo niska</i>	<i>średnia</i>	<i>niska</i>
18	<i>średnia</i>	<i>wysoka</i>	<i>wysoka</i>
24	<i>wysoka</i>	<i>bardzo wysoka</i>	<i>bardzo wysoka</i>

Źródło: opracowanie własne.

6.4.4. Ocena procesu kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym

Dla efektywnego wykorzystania uzyskanych rozwiązań teoretycznych stworzono system RBES, który implementuje komputerowo opracowane modele. Dzięki temu narzędziu możliwe było wykonanie licznych eksperymentów na modelach. Narzędzie to zostało stworzone z myślą o wspomaganium służb odpowiedzialnych w porcie lotniczym za organizację ochrony lotniska, a w szczególności za kontrolę

bagażu rejestrowanego. Umożliwia ono ocenę wpływu rozwiązań organizacyjnych, wyposażenia technicznego, składu personalnego pracujących jednocześnie OKB na skuteczność i przepustowość całego procesu kontroli bagażu rejestrowanego. Tym samym stanowi narzędzie do wspomagania zarządzania tym procesem.

Ocena skuteczności OKB przy kontroli bagażu rejestrowanego została dokonana dla czterech przykładowych konfiguracji systemu. Zostały one określone następująco:

- Grupa pracowników o bardzo wysokiej ocenie (ocena grupowa $y_{DP} = 5$), popełniających mało błędów na przeglądarkach, trzeci wariant organizacji kontroli.
- Grupa pracowników o wysokiej ocenie (ocena grupowa $y_{DP} = 4$), popełniających średnią liczbę błędów typu A, czwarty wariant organizacji kontroli.
- Grupa pracowników o średniej ocenie (ocena grupowa $y_{DP} = 3$), popełniających dużo błędów, piąty wariant organizacji kontroli.
- Rzeczywista grupa OKB pracujących na jednej zmianie w MPL Katowice-Pyrzowice. Grupa ta została szczegółowo oceniona w pracy (Skorupski & Uchroński, 2014b). Składa się z sześciu osób, a jej ocena grupowa uzyskana w tej pracy $y_{DP} = 4,46$. Liczbę popełnionych błędów typu A określono na podstawie pomiarów rzeczywistych (tab. 61), uwzględniono drugi wariant organizacji kontroli. Do określenia średniej liczby błędów typu A wykorzystano metodę ważoną, w której wagi zależne są od liczby prześwietlonych bagaży. Wartości x_{eA} dla poszczególnych OKB zostały określone na podstawie danych pomiarowych wykonanych w MPL Katowice w Pyrzowicach.

Tabela 47. Łączna ocena błędów typu A, popełnianych przez grupę OKB przy kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice

i	dp_i	$x_{eA}(dp_i)$ [%]	$bp(dp_i)$	$wp(dp_i)$	$wp(dp_i) \cdot x_{eA}(dp_i)$
1	OKB-01	10,2	1286	0,237	2,42
2	OKB-02	0,5	810	0,15	0,08
3	OKB-03	6,3	1169	0,216	1,36
4	OKB-04	12,6	234	0,044	0,55
5	OKB-05	9,9	853	0,157	1,55
6	OKB-06	38,7	1064	0,196	7,59
$\overline{x_{eA}}$					13,55

Źródło: opracowanie własne.

W Tabeli 47: i oznacza numer OKB, dp_i – jego identyfikator, $x_{eA}(dp_i)$ – rzeczywistą liczbę błędów typu A popełnionych przez i -tego OKB (wyrażoną w %), $bp(dp_i)$ – rzeczywistą liczbę bagaży ocenionych przez i -tego OKB, $wp(dp_i)$ – wagę i -tego OKB w całościowej ocenie grupy, (\bar{x}_{eA}) – średnią liczbę błędów typu A dla całej grupy (wyrażoną w %).

Zestawienie wyników dla poszczególnych konfiguracji uzyskanych z systemu RBES przedstawione jest w Tabeli 48 (zmienna x_{DP} oznacza ocenę grupy OKB i zastępuje w modelu zmienną y_p).

Tabela 48. Ocena wybranych konfiguracji systemu kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice

Konfiguracja systemu	y_{DP}	x_{eA} [%]	x_o	y_o
1	5	12	3	4,0
2	4	19	4	3,0
3	3	26	5	0,8
4	4,46	13,55	2	5,2

Źródło: opracowanie własne.

Przykładowe konfiguracje systemu kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice pokazują duże różnice w ocenie systemu, w zależności od stosowanego wariantu organizacji oraz skuteczności OKB, wyrażanej zarówno przez ich ocenę z modelu lokalnego *Ocena pracownika*, jak i z częstości popełniania błędów typu A.

Konfiguracja 1 daje w wyniku punkt kontroli bagażu o ocenie skuteczności *wysoka*. Wynika to zarówno z bardzo wysokiej oceny pracowników, niewielkiej liczby popełnianych błędów typu A, jak i z pośredniego wariantu organizacji kontroli.

Konfiguracja numer 2 charakteryzuje się pogorszeniem zarówno oceny pracowników, jak i zastosowania wariantu organizacji, który sprzyja dopuszczeniu do przewozu większej liczby przedmiotów zabronionych. Skutkiem tego jest niższa ocena ogólna, przyjmująca wartość *średnia*.

Konfiguracja 3 daje ocenę PKB na poziomie *bardzo niska*. Nie powinna ona dziwić, skoro zastosowano piąty wariant organizacji kontroli, w którym nie ma automatycznej kontroli bagażu. W takiej sytuacji bardzo ważną rolę odgrywają kompetencje OKB, które w tym przypadku są niewystarczające – duża liczba błędów typu A i tylko średnia ocena pracowników.

Konfiguracja 4, odpowiadająca rzeczywistej grupie OKB pracujących ze sobą w MPL Katowice-Pyrzowice, daje ocenę *bardzo wysoka*. Jest ona spowodowana wykorzystaniem wariantu organizacji, który jest bardzo skuteczny (choć posiada

niską przepustowość). Dodatkowo wybrana grupa ma wysoką ocenę ogólną i popełnia mało błędów przy korzystaniu z prześwietlarek RTG.

6.4.5. Przykładowa ocena systemu kontroli bagażu rejestrowanego

Jako przykład użyteczności zaproponowanego modelu i systemu komputerowego przedstawione zostaną obliczenia dla konkretnych konfiguracji systemu kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice. W tym porcie lotniczym istnieją dwa terminale o różnym wyposażeniu w rentgenowskie urządzenia do kontroli bagażu. W Tabeli 49 przedstawiono specyfikację systemu kontroli bagażu wybranego do obliczeń. Założono, że w terminalu A stosuje się czwarty wariant organizacji kontroli, natomiast w terminalu B trzeci wariant organizacji kontroli.

Tabela 49. Ocena systemu kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice

Parametr wejściowy	Terminal A	Terminal B
Prześwietlarka poziomu 1	Smiths-Heimann 10080 EDX-2is	Smiths-Heimann 10080 EDX-2is
Prześwietlarka poziomu 2 i 3	Smiths-Heimann HS 100100T-2is	Smiths-Heimann 10080 EDX-2is
<i>Ocena urządzenia</i>	4,3	4,7
<i>Ocena grupy pracowników</i>	5	4
<i>Błędy typu A</i>	12	19
<i>Wariant organizacji kontroli</i>	3	4
<i>Kontrola OKB</i>	4	3
<i>Bagaż rejestrowany</i>	4,5	4

Źródło: opracowanie własne.

Przy przyjętych założeniach zdefuzyfikowana ocena systemu kontroli bagażu rejestrowanego w terminalu A równa jest 4,5, co odpowiada ocenie pomiędzy *wysoka* a *bardzo wysoka*, zaś w terminalu B równa jest 4, co odpowiada ocenie *wysoka*.

W terminalu A zastosowano dwa różne urządzenia rentgenowskie, przy czym urządzenie stosowane na poziomach 2 i 3 nie posiada funkcji wykrywania materiałów wybuchowych EDS. Jednak urządzenia te są młodsze od swoich odpowiedników w terminalu B. Uwzględniając, że około 70% bagażu jest sprawdzane wyłącznie na poziomie 1, zaś 30% na poziomach 2 i 3, łączna ocena urządzenia w terminalu B jest nieco wyższa niż w terminalu A, jednak obie lokują się w obszarze pomiędzy *wysoka* a *bardzo wysoka*.

Grupa pracowników w terminalu B jest oceniana nieco niżej, niż ta z terminalu A. Przy większej liczbie błędów typu A oraz zastosowaniu wariantu organizacji kontroli, przy którym kwalifikacje OKB mają większe znaczenie, wartości zmiennej *Ocena OKB* dla terminalu B kształtują się na poziomie *średnia*, zaś w terminalu A na poziomie *wysoka*. Ostateczna ocena zmiennej wyjściowej *Bagaż rejestrowany* pokazana jest w ostatnim wierszu Tabeli 49.

7. Ocena skuteczności i przepustowości kontroli bagażu kabinowego w porcie lotniczym

Rosnące zagrożenie aktami bezprawnej ingerencji i atakami terrorystycznymi doprowadziło do powszechnego stosowania systemów kontroli osób i bagażu w portach lotniczych. Wprowadzane ograniczenia przedmiotów dopuszczonych do przewozu oraz same procedury kontrolne powodują spadek komfortu podróżowania oraz zmniejszają przepustowość terminali. Istotne zatem staje się poszukiwanie odpowiedzi na pytanie o skuteczność kontroli, podejmowanych zarówno w stanie normalnego, jak i podwyższonego zagrożenia. Celem pracy stało się zatem stworzenie metody i narzędzia obliczeniowego pozwalających na szybkie i precyzyjne określenie skuteczności kontroli bagażu kabinowego, w zależności od istniejącego wyposażenia, od doboru pracowników kontroli, a także od zastosowanych rozwiązań organizacyjnych. W kontroli bagażu kabinowego bardzo silnie zaznaczony jest czynnik ludzki. Wprowadza on element subiektywizmu, nieprecyzyjności i niekompletności opisu. W związku z tym zastosowano metody wnioskowania rozmytego. Uzyskane wyniki pokazują, że nawet w obrębie tego samego portu lotniczego może występować duże różnicowanie skuteczności kontroli bagażu kabinowego w różnych punktach kontroli bezpieczeństwa (PKB), warunkujące jego przepustowość. Wykazać można, że istnieje możliwość praktycznego sterowania poziomem skuteczności kontroli, w tym także w warunkach podwyższonego zagrożenia atakiem. Należy jednak unikać decyzji o charakterze ogólnym, a raczej koncentrować się na indywidualnej ocenie skuteczności kontroli w PKB i odpowiednio do wyników tej oceny dobierać działania. Wyniki uzyskane przy użyciu stworzonego narzędzia komputerowego COBAFAS pokazują, że możliwe jest wówczas zwiększenie skuteczności kontroli bez jednoczesnego paraliżowania przepustowości lotniska.

Proces kontroli bagażu podręcznego

Jednym z celów postawionych w tej pracy jest poszukiwanie odpowiedzi na pytanie, jaka jest skuteczność kontroli bagażu podręcznego, a tym samym, jaki

jest poziom bezpieczeństwa realizowanych lotów. Odpowiedź na to pytanie nie jest łatwa, gdyż w wielu aspektach systemu kontroli bagażu podręcznego pojawia się bardzo istotna rola czynnika ludzkiego, a zatem informacja wejściowa jest również w tym przypadku w większości subiektywna, niepewna i nieprecyzyjna. Dotyczy to zwłaszcza kontroli manualnej, ale nie tylko. Również kontrola z wykorzystaniem prześwietlania bagażu na urządzeniach RTG opiera się w dużej mierze na subiektywnej ocenie obrazu obserwowanego przez OKB.

Biorąc pod uwagę wielość źródeł informacji, konieczność ich syntezy, ich subiektywizm i nieprecyzyjność, a także uwzględniając subiektywny charakter samego wnioskowania co do skuteczności systemu kontroli bagażu podręcznego, wykorzystano teorię logiki rozmytej, a w szczególności teorię wnioskowania rozmytego (Siler & Buckley, 2005).

W zakresie badań przeprowadzonych w prezentowanym obszarze zbudowany został rozmyty model do oceny kontroli bagażu kabinowego, w którym jest uwzględniona i dodatkowo rozbudowana problematyka kontroli manualnej bagażu podręcznego. To właśnie w tym obszarze koncentrują się wszystkie problemy w zapewnieniu bezpieczeństwa w transporcie lotniczym związane z czynnikiem ludzkim. Szczególna uwaga zwrócona została także na liczbę i skuteczność kontroli manualnych podejmowanych z różnych pobudek, uwzględniając w części psychologiczny aspekt pracy OKB. Dodatkowo zbadana została również możliwość wpływania na skuteczność kontroli bagażu podręcznego, co może mieć duże znaczenie w kontekście bezpieczeństwa narodowego i zwalczania terroryzmu.

Ważną rolę w procesie kontroli bagażu podręcznego spełnia zainstalowany w urządzeniach RTG system TIP, którego istota polega na nakładaniu na obraz prześwietlanego bagażu wirtualnego obrazu przedmiotu zabronionego, a rolą OKB jest jego wykrycie i zaznaczenie tego faktu przez wciśnięcie odpowiedniego przycisku. Z jednej strony stanowi to narzędzie oceny pracy pracownika, a z drugiej pozwala mu zapoznać się z obrazami mniej lub bardziej wymyślnie ukrytych w bagażu przedmiotów zabronionych lub niebezpiecznych, a tym samym ciągle podnosić kwalifikacje i skuteczność wykonywanych zadań.

Na szczególną uwagę podczas kontroli bagażu kabinowego zasługuje kontrola manualna, która polega na przeszukaniu całej jego zawartości, aby upewnić się, czy nie zawiera przedmiotów zabronionych. Realizowana powinna być każdorazowo w przypadku pojawienia się u OKB wątpliwości co do zawartości bagażu. Istnieje tutaj zasada, że wszelkie wątpliwości rozstrzyga się na niekorzyść pasażera. W przypadku pojawienia się na obrazie prześwietlanego bagażu przedmiotu, którego OKB nie jest w stanie rozpoznać, ma on prawo i obowiązek dokonać szczegółowej kontroli manualnej tego bagażu. Czynność ta

nie zawsze jest komfortowa dla pasażera, zwłaszcza takiego, który cechuje się niskim poziomem świadomości ochrony, jednak jest ona niezbędna i bardzo ważna z punktu widzenia ochrony lotnictwa cywilnego. W pracy rozpatrzona zostanie zarówno kontrola manualna wykonywana w wyniku opisanego powyżej ciągu zdarzeń, ale także wykonywana wrywkowo, jeśli przepisy tego wymagają.

W praktyce znane są liczne przypadki ukrywania w bagażu kabinowym, w specjalnie spreparowanych schowkach, przedmiotów mogących służyć do popełnienia aktu bezprawnej ingerencji. Proces kontroli bagażu kabinowego jest więc jednym z najważniejszych elementów systemu ochrony lotniska. Od jego skuteczności zależy bezpieczeństwo pasażerów oraz ogólna ocena poziomu ochrony danego lotniska (Uchroński & Skorupski, 2015b).

Bardzo duży nacisk w badaniach kładziony jest na problematykę przepustowości systemów kontroli bezpieczeństwa.

Podjęmowane są próby opracowania alternatywnych rozwiązań, integrujących wszystkie rodzaje kontroli, której poddawany jest pasażer i jego bagaż (Yildiz et al., 2008). Przegląd nowych metod można znaleźć w (Leone & Liu, 2011). Wszystkie one zakładają, że profilowanie pasażera i dynamiczne określanie zakresu kontroli zwiększa bezpieczeństwo i przepustowość systemu. W pracy rozszerzono te badania, podejmując kwestię liczby obowiązkowych kontroli manualnych oraz definiując dwa rodzaje kontroli manualnej bagażu kabinowego o różnej skuteczności.

Należy zauważyć, że istnieje możliwość dokonania kompleksowej oceny skuteczności kontroli bezpieczeństwa bagażu i przepustowości punktu kontroli z zastosowaniem metody logiki rozmytej. Kompleksowa ocena uwzględnia zarówno czynnik techniczny, w postaci urządzenia rentgenowskiego do prześwietlania zawartości bagażu, jak i czynnik ludzki. W pracy czynnik ludzki jest uwzględniony w dwóch aspektach. Z jednej strony poprzez uwzględnienie błędów, które popełniają OKB przy interpretacji obrazu prześwietlanego bagażu. Z drugiej strony czynnik ludzki manifestuje się w rozważaniach na temat kontroli manualnej bagażu podręcznego. Rozważana jest także motywacja do jej przeprowadzania, która ma zasadnicze znaczenie dla jej skuteczności. Wykorzystuje się tutaj również rozwiązania o charakterze systemu eksperckiego, który pozwala wyeliminować człowieka z bieżącego procesu decyzyjnego, jednocześnie uwzględniając wiedzę i doświadczenia eksperckie.

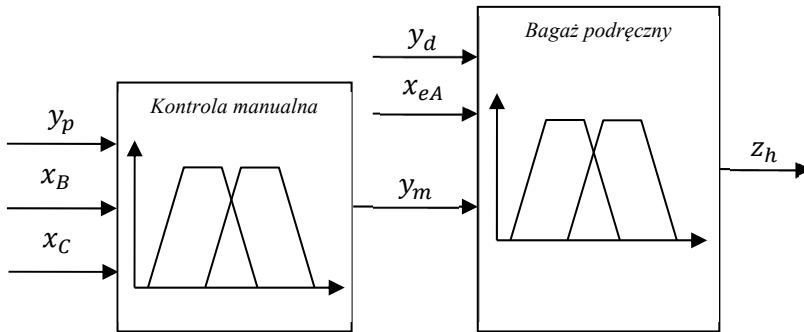
7.1. Ocena systemu kontroli bagażu podręcznego

7.1.1. Ogólna struktura modelu rozmytego *Bagaż podręczny*

Kontrola bagażu podręcznego opiera się na dwóch filarach. Pierwszym z nich jest prześwietlanie bagażu promieniami Roentgena, w celu poznania jego zawartości bez otwierania. Drugim jest kontrola manualna, wykonywana przez operatora kontroli bezpieczeństwa (OKB). Tym dwóm filarom odpowiadają trzy zmienne wejściowe dla rozmytego modelu, stanowiącego podstawę dla systemu wnioskowania rozmytego (Rysunek 36). Dwie z nich – *Ocena urządzenia* (y_d) oraz *Błędy typu A* (x_{eA}) – związane są z procesem prześwietlania bagażu kabinowego. Sprzęt wykorzystywany do tego celu w różnych punktach kontroli bezpieczeństwa (PKB) może znacząco różnić się pod względem rodzaju wykrywanych materiałów, czułości, precyzji, jakości obrazu na ekranie operatorskim itp. Zmienna lingwistyczna *Ocena urządzenia* pozwala wyrazić wpływ czynnika technicznego na możliwość skutecznego wykrycia w bagażu przedmiotu zabronionego do przewozu. Potencjał techniczny urządzenia rentgenowskiego stanowi tylko fragment oceny procesu kontroli bagażu podręcznego. Drugą część stanowią rzeczywiste umiejętności OKB, pozwalające skutecznie i efektywnie go wykorzystać. Umiejętności te opisuje druga zmienna lingwistyczna *Błędy typu A*.

Trzecia zmienna wykorzystywana w modelu to *Kontrola manualna* (y_m). Charakteryzuje ona skuteczność kontroli manualnej wykonywanej w odniesieniu do części bagażu kabinowego. Integruje ona w sobie ocenę jakości wykonywanej kontroli manualnej, jak również liczby kontroli. W poniższym modelu założono, że jakość kontroli zależy od zmiennej lingwistycznej *Ocena pracownika* (y_p). Ta z kolei jest uzależniona od takich czynników, jak: doświadczenie OKB, czas, jaki upłynął od ostatniego szkolenia kompleksowego czy bieżącego, ale także od ogólnego nastawienia do wykonywanej pracy. Z drugiej strony na skuteczność kontroli manualnej wpływa także liczba sprawdzonych tą metodą bagaży. Ze względu na występujące różnice w wyposażeniu technicznym PKB oraz regulacje prawne, na potrzeby prezentowanego modelu rozbijamy pojęcie kontroli manualnej na dwa rodzaje: kontrolę manualną typu B oraz kontrolę manualną typu C. Ich liczby, charakteryzowane zmiennymi lingwistycznymi odpowiednio: *Liczba kontroli manualnych B* (x_B) oraz *Liczba kontroli manualnych C* (x_C) są zmiennymi wejściowymi do modelu.

Rysunek 36. Schemat rozmytego modelu do oceny systemu kontroli bagażu podręcznego



Źródło: opracowanie własne.

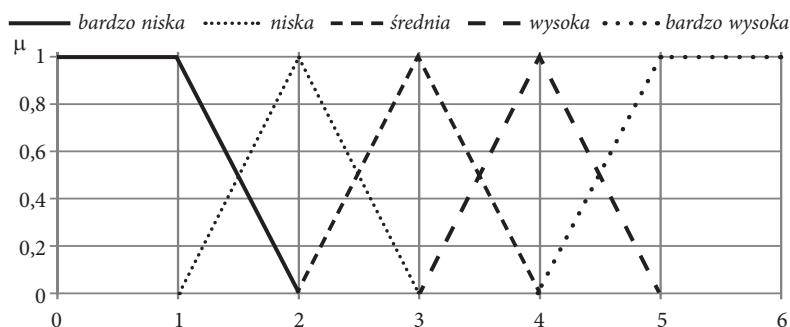
Przedstawiony model stanowi rozmytą strukturę hierarchiczną, jako że wyjścia z jednych systemów wnioskowania rozmytego stanowią wejścia do kolejnych systemów wnioskowania rozmytego. I tak na przykład zmienna (y_p) jest wyjściem systemu wnioskowania rozmytego *Ocena pracownika* i jednocześnie wejściem do systemu wnioskowania rozmytego *Kontrola manualna*. Podobnie zmienna (y_m) jest wyjściem systemu wnioskowania rozmytego *Kontrola manualna* i jednocześnie wejściem do systemu wnioskowania rozmytego *Bagaż podręczny*.

Zmienna wejściowa Ocena urzędnika

Rozpatrzmy na początek lingwistyczną zmienną wejściową *Ocena urzędnika*. Jak już zostało wspomniane, występujące na rynku, a także będące na wyposażeniu portów lotniczych urządzenia rentgenowskie do prześwietlania bagażu charakteryzują się różnym poziomem technologicznym, a także różnymi cechami użytkowymi. Z tego powodu skuteczność kontroli bagażu wykonywanej przy wykorzystaniu poszczególnych urządzeń także jest różna. W pracy przyjęto, że parametrami uwzględnianymi przy ocenie urządzeń będą: wykrywalność materiałów, obecność i skuteczność systemu wyświetlania wirtualnych obrazów zagrożeń TIP, liczba wykorzystywanych linii detekcyjnych oraz wiek urządzenia. Niektóre z tych parametrów mogą być opisane w sposób ścisły (np. liczba linii detekcyjnych), jednak inne (np. skuteczność systemu TIP) muszą być sformułowane w sposób opisowy, gdyż mają charakter intuicyjny i nie poddają się precyzyjnemu opisowi formalnemu. Również wielkość wyjściowa *Ocena urzędnika*, determinowana przez te cztery parametry, ma charakter subiektywny i nieprecyzyjny. Wszystkie te elementy powodują, że określenie wartości zmiennej *Ocena urzędnika* musi być dokonane za pomocą metod uwzględniających występowanie informacji niepewnej.

W wykonanych wcześniej badaniach stworzono odpowiedni system wnioskowania rozmytego, który bardziej szczegółowo został opisany w pracy (Skorupski & Uchroński, 2015). Efektem jego zastosowania jest uzyskanie dla każdego dostępnego urządzenia rentgenowskiego oceny w postaci lingwistycznej, przyjmującej jedną z pięciu wartości (*bardzo wysoka*, *wysoka*, *średnia*, *niska*, *bardzo niska*). Poszczególnym wartościom zmiennej lingwistycznej *Ocena urządzenia* odpowiadają zbiory rozmyte, których funkcje przynależności zostały przedstawione na Rysunku 37.

Rysunek 37. Funkcja przynależności zmiennej wejściowej *Ocena urządzenia*



Źródło: opracowanie własne.

W przykładach liczbowych zamieszczonych w kolejnej części pracy do oceny skuteczności systemu kontroli bagażu kabinowego wykorzystane zostaną oceny liczbowe konkretnych urządzeń, uzyskane z modelu opisanego w (Skorupski & Uchroński, 2015).

Zmienna wejściowa Błędy typu A

Wspomniany wcześniej system TIP, czyli projekcja wirtualnych obrazów zagrożeń, jest jednym z narzędzi, które pozwalają na ciągle doskonalenie umiejętności pracownika. Ideą systemu TIP jest nakładanie na obraz prześwietlanego bagażu z określoną częstotliwością wirtualnego przedmiotu zabronionego. Zadaniem operatora jest wykrycie w wyświetlanym obrazie wirtualnego przedmiotu oraz potwierdzenie tego faktu przez naciśnięcie odpowiedniego przycisku na konsoli urządzenia RTG. Dzięki temu zwiększa się czujność pracowników OKB, którzy nieco częściej niż przy braku tego systemu są zmuszani do aktywnego wyszukiwania podejrzanego przedmiotu w obrazie prześwietlanego bagażu. System TIP posiada między innymi możliwość bieżącego podglądu pracy OKB oraz weryfikacji jego umiejętności analizy obrazu prześwietlanego bagażu (Neiderman & Fobes, 2009).

System TIP stanowi też dogodne źródło informacji o skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych w bagażu kabinowym. Badania i pomiary przeprowadzone w MPL Katowice-Pyrzowice (International Civil Aviation Organisation code: EPKT) pozwoliły ustalić, że OKB popełniają następujące typy błędów:

- Nie wskazują (nie zauważają) wirtualnego przedmiotu zabronionego na obraz prześwietlanego bagażu. Zdefiniowano to jako błąd typu A.
- Wskazują jako niebezpieczne bagaże, które w rzeczywistości nie zawierają ani rzeczywistego, ani wirtualnego przedmiotu zabronionego. Zdefiniowano to jako błąd typu B.

Pierwszy z wymienionych typów błędów stanowi podstawę do określenia lingwistycznej zmiennej wejściowej *Błędy typu A*. Istotą kontroli prowadzonej przez człowieka z użyciem prześwietlarek rentgenowskich jest umiejętność rozpoznawania obrazów przedmiotów zabronionych w bagażu. Zmienna *Błędy typu A* jest miarą tej umiejętności, zatem będzie ona uwzględniana z wysoką wagą w rozmytych regułach wnioskowania.

Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej *Błędy typu A* zostały określone na podstawie wspomnianych uprzednio pomiarów, których syntetyczne wyniki cząstkowe zostały przedstawione w Tabeli 50.

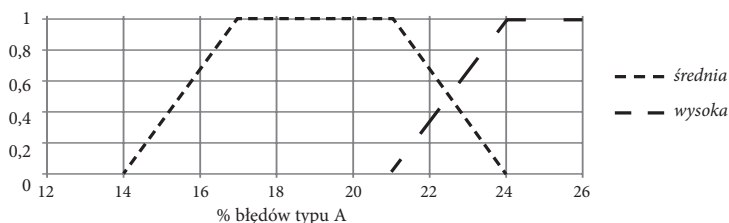
Tabela 50. Wyniki pomiarów wykorzystanych do określenia funkcji przynależności zmiennej wejściowej *Błędy typu A*

Data	Liczba bagażu	Liczba TIP	Błędy A	% błędów A
9–11.01.2014	16 682	141	31	21,99%
15–17.01.2014	15 055	257	54	21,01%
22–24.01.2014	15 196	381	68	17,85%
3–5.02.2014	16 051	255	48	18,82%
10–12.02.2014	16 449	245	57	23,27%
14–16.02.2014	17 923	175	34	19,43%
20–22.02.2014	15 524	258	56	21,71%
25–27.02.2014	14 473	342	70	20,47%

Źródło: opracowanie własne.

Wielkością, którą została przyjęta jako podstawa do określenia funkcji przynależności zmiennej *Błędy typu A* jest, wyrażony procentowo, udział nierozpoznanych obrazów TIP. Na podstawie pomiarów przyjęto poszczególne wartości tej zmiennej zgodnie z wykresem przedstawionym na Rysunku 38.

Rysunek 38. Postać funkcji przynależności wartości zmiennej lingwistycznej *Błędy typu A*



Źródło: opracowanie własne.

71.2. Ogólna struktura modelu rozmytego *Kontrola manualna*

Skuteczność systemu kontroli manualnej bagażu kabinowego jest zależna w istocie od dwóch elementów. Z jednej strony od umiejętności i zaangażowania OKB w te czynności, z drugiej strony od częstości wykonywania tych kontroli. Jeśli kontrole manualne wykonywane są często (podlega im duża część bagaży) i skrupulatnie (przez OKB o dużych umiejętnościach), wówczas prawdopodobieństwo wniesienia przedmiotu zabronionego na pokład samolotu jest niewielkie, czyli skuteczność kontroli manualnej jest wysoka. Spada ona, jeśli odsetek bagaży poddanych kontroli manualnej jest mały lub wykonuje ją OKB, któremu brakuje doświadczenia lub który podchodzi do tej pracy lekceważąco.

Powyższe spostrzeżenia stały się podstawą do przyjęcia struktury lokalnego modelu rozmytego *Kontrola manualna*, którego wyjście jest jednocześnie wejściem do modelu rozmytego *Bagaż podręczny*. Jako jego wejścia przyjęto trzy zmienne lingwistyczne. Pierwsza z nich to *Ocena pracownika*, charakteryzująca umiejętności i zaangażowanie (nastawienie do pracy) operatorów kontroli bezpieczeństwa. Pozostałe dwie to *Liczba kontroli manualnych B* oraz *Liczba kontroli manualnych C*, charakteryzujące procentowy udział bagaży podlegających kontroli manualnej. Wykorzystanie dwóch różnych zmiennych wynika z motywacji OKB do wykonania kontroli manualnych, a co za tym idzie – ze skuteczności ich przeprowadzania. Zmienna *Liczba kontroli manualnych B* opisuje następujące przypadki:

- Kontrola wykonana po następującej sekwencji zdarzeń:
 - OKB zauważa niepokojący go kształt w obrazie bagażu prześwietlanego na urządzeniu rentgenowskim,
 - wciska przycisk systemu TIP w celu sprawdzenia, czy nie jest to obraz wirtualny wyświetlany przez ten system (w przypadku PKB wyposażonego w urządzenie rentgenowskie bez systemu TIP ten etap nie występuje),
 - odpowiedź systemu TIP jest negatywna, co oznacza, że obraz wirtualny nie był wyświetlany (w przypadku PKB wyposażonego w urządzenie rentgenowskie bez systemu TIP ten etap nie występuje),

- OKB podejmuje kontrolę manualną w celu sprawdzenia źródła niepokojącego kształtu zaobserwowanego w bagażu.
- Kontrola wykonana po informacji pasażera, że posiada on w bagażu kabinowym przedmiot, co do których nie jest pewny, czy wolno je przewozić.
- Kontrola wykonana w wyniku obserwacji zachowania pasażera. Czynniki, które sprzyjają tego rodzaju kontroli, są: szczególne zdenerwowanie pasażera, wykonywanie podejrzanych gestów podczas przygotowania bagażu kabinowego do kontroli, niepodporządkowanie się zaleceniom porządkowym itp.
- Duży stopień wypełnienia bagażu kabinowego przedmiotami, które uniemożliwiają prawidłową interpretację jego zawartości na podstawie obrazu z urządzenia rentgenowskiego.

W modelu założono, że w takiej sytuacji kontrola manualna jest przeprowadzana z maksymalną możliwą skrupulatnością, ograniczoną jedynie indywidualnymi możliwościami OKB (opisanymi zmienną *Ocena pracownika*).

Z kolei zmienna wejściowa *Liczba kontroli manualnych C* opisuje następujące przypadki:

- punkt kontroli bezpieczeństwa jest wyposażony w urządzenie rentgenowskie bez systemu TIP,
- OKB nie widzi w obrazie prześwietlanego bagażu niepokojących go kształtów, mogących świadczyć o niedopuszczalnej zawartości bagażu,
- OKB nie ma żadnych innych podejrzeń, związanych np. z zachowaniem pasażera czy uzyskanymi od niego informacjami,
- OKB mimo to podejmuje kontrolę manualną z uwagi na formalny wymóg skontrolowania określonego odsetka bagażu, nałożony przez przepisy (European Commission, 2015b).

Kontrola manualna przeprowadzona w takiej sytuacji powinna mieć równie skrupulatny charakter jak w poprzednim przypadku. Jest jednak rzeczą oczywistą, że zapewne będzie przeprowadzona mniej starannie. OKB, nie widząc niczego podejrzanego w obrazie rentgenowskim bagażu, jedynie pobieżnie przejrzy jego zawartość, w przeciwieństwie do sytuacji, kiedy poszukuje konkretnego podejrzanego przedmiotu. Kontrole manualne typu C będą zatem uwzględniane w modelu lokalnym *Kontrola manualna* z mniejszą wagą niż kontrole typu B, gdyż ich znaczenie dla skutecznego wyeliminowania zabronionych przedmiotów uznajemy za mniejsze.

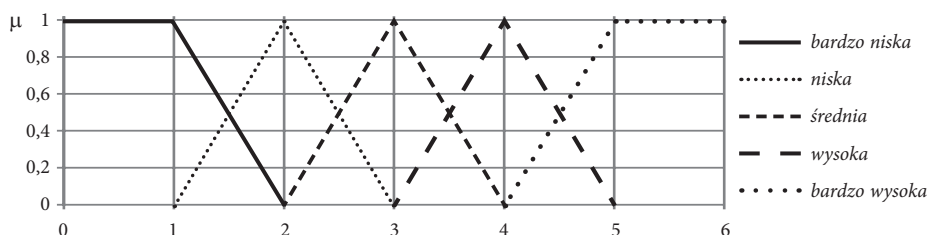
Zmienna wejściowa Ocena pracownika

Ocena skuteczności OKB w wykrywaniu przedmiotów zabronionych jest zagadnieniem trudnym i niepoddającym się precyzyjnemu opisowi formalnemu. Jest ona zatem określana na podstawie systemu wnioskowania rozmytego. Czynniki wpływającymi na zmienną *Ocena pracownika* uwzględnianymi w tym systemie są:

- doświadczenie, wyrażone zmienną lingwistyczną, której funkcje przynależności zbiorów rozmytych określone są na podstawie liczby miesięcy pracy jako OKB,
- czas od ostatniego szkolenia kompleksowego, wyrażony zmienną lingwistyczną, określoną na podstawie czasu (w miesiącach), który upłynął od ostatniego szkolenia kompleksowego,
- czas od ostatniego szkolenia bieżącego, opisany zmienną lingwistyczną, której funkcje przynależności są zależne od czasu (w miesiącach), który upłynął od ostatniego szkolenia bieżącego,
- nastawienie do wykonywanej pracy, wyrażone zmienną lingwistyczną przyjmującą trzy wartości (*łagodne, przeciętne, restrykcyjne*), charakteryzującą ogólne podejście OKB do przeprowadzanych kontroli.

Wszystkie te wielkości stanowią zmienne wejściowe do lokalnego modelu rozmytego, którego wyjściem jest zmienna lingwistyczna *Ocena pracownika*. Szczegóły tego modelu zawarto w (Skorupski & Uchroński, 2014b). Zmienna lingwistyczna *Ocena pracownika* (y_p) traktowana jest tutaj jako wejście do modelu *Kontrola manualna*. Przy analizie skuteczności kontroli manualnej opisuje ona potencjał pracownika. W rozmytych regułach wnioskowania uwzględnia się ją w następujący sposób: przy takiej samej liczbie kontroli manualnych skuteczność kontroli wykonanej przez pracownika, dla którego zmienna *Ocena pracownika* przyjmuje wysokie wartości, jest większa niż w przypadku, gdy kontrolę wykona OKB, dla którego zmienna ta przyjmuje niższe wartości. Może ona przyjąć pięć różnych wartości, których funkcje przynależności zostały przedstawione na Rysunku 39.

Rysunek 39. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej *Ocena pracownika*



Źródło: opracowanie własne.

Zmienna wejściowa Liczba kontroli manualnych B

Kontrole manualne typu B dotyczą przypadków, gdy OKB ma uzasadnione podejrzenie, że w bagażu kabinowym pasażera znajdują się przedmioty zabronione. Podejmuje wówczas czynność szczegółowego przeszukania bagażu w celu wyeliminowania konkretnego przedmiotu.

Zmienna *Liczba kontroli manualnych B* jest ograniczona od dołu liczbą błędów typu B. Jeśli OKB zauważy przedmiot zabroniony w obrazie prześwietlanego bagażu, który nie jest obrazem wirtualnym wyświetlonym przez system TIP, wówczas bezwzględnie powinien wykonać kontrolę manualną. W pracy (Skorupski & Uchroński, 2014a) przedstawiono szczegółowe analizy liczby błędów typu B, także w zależności od doświadczenia OKB, jego cech osobowościowych, a także częstotliwości wyświetlania obrazów TIP. Na podstawie tych badań w pracy przyjęto, że średnia liczba błędów typu B (i związanych z nimi kontroli typu B) wynosi od około 3,5% dla niedoświadczonych OKB do około 0,6% dla OKB o najwyższych kwalifikacjach.

Ograniczeniem od góry dla zmiennej *Liczba kontroli manualnych B* jest jedynie przepustowość systemu kontroli bezpieczeństwa. W sytuacji skrajnego zagrożenia terrorystycznego można sobie wyobrazić nawet przypadek, kiedy wszystkie bagaże kabinowe są kontrolowane manualnie. Z tego też powodu w dalszych analizach zmienna *Liczba kontroli manualnych B* będzie traktowana jako zmienna decyzyjna, za pomocą której władza lotnicza może wpływać na poziom skuteczności systemu zabezpieczenia lotniska. Oczywiście nie mamy tutaj na myśli określanego z góry odsetka bagażu podlegających kontroli (co ma miejsce w przypadku kontroli manualnych typu C). Oddziaływanie na poziom skuteczności kontroli bagażu kabinowego będzie się odbywało poprzez zdefiniowany przez władzę lotniczą poziom zagrożenia atakiem bezprawnej ingerencji.

Zarówno w sytuacjach standardowego, jak i podwyższonego zagrożenia terrorystycznego faktyczna liczba przeprowadzanych kontroli typu B, którą będziemy traktować jako zmienną wejściową do modelu rozmytego *Kontrola manualna*, musi być określona metodami eksperymentalnymi (pomiarowymi). W pracy przedstawiono wyniki pomiarów dokonanych na lotnisku Katowice-Pyrzowice, przy standardowym poziomie zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji. Ich syntetyczne podsumowanie zawiera Tabela 51.

Tabela 51. Syntetyczne wyniki pomiarów częstości kontroli typu B (EPKT)

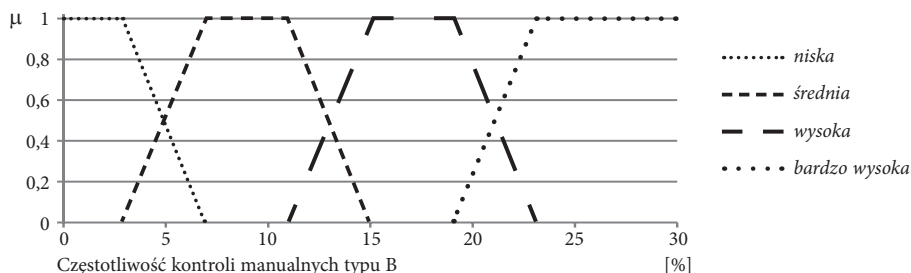
PKB	Terminal	% kontroli typu B
PKB-1	A	8
PKB-2	A	10
PKB-3	B	11
PKB-4	B	7

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać, średnia liczba kontroli typu B wynosi około 9%. Wyniki przeprowadzonych pomiarów stanowiły podstawę do stworzenia funkcji przynależności zmiennej lingwistycznej *Liczba kontroli manualnych B*. Zmienna ta może

przyjmować cztery wartości, a funkcje przynależności odpowiadających im zbiorów rozmytych zostały przedstawione na Rysunku 40. Niestety, nie dysponujemy możliwością pomiarów częstości kontroli typu B w warunkach podwyższonego zagrożenia, zatem do opracowania postaci tych funkcji charakterystycznych zostały wykorzystane opinie ekspertów z zakresu bezpieczeństwa lotniskowego.

Rysunek 40. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej *Liczba kontroli manualnych B*



Źródło: opracowanie własne.

W sytuacjach typowych należy się spodziewać, że zmienna *Liczba kontroli manualnych B* będzie przyjmowała wartości *średnia*. Wartości *wysoka* będą miały miejsce w sytuacjach podwyższonego poziomu zagrożenia atakiem terrorystycznym. W takich przypadkach należy się spodziewać zwiększonych kolejek do odprawy bezpieczeństwa, zwłaszcza w okresach zwiększonego ruchu. Jednak możliwe będzie w miarę normalne funkcjonowanie lotniska. Zakres *bardzo wysoka* będzie odpowiadał sytuacjom ekstremalnym, możliwym do zastosowania tylko w przypadkach wyjątkowego zagrożenia. Należy się jednak wówczas spodziewać dużych perturbacji w działalności lotniska, z opóźnieniami i odwołaniami lotów włącznie.

Zmienna wejściowa Liczba kontroli manualnych C

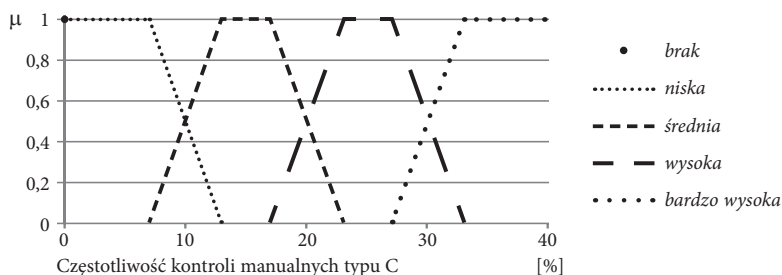
Manualne kontrole bezpieczeństwa typu C realizowane są w przypadku, gdy urządzenia rentgenowskie służące do prześwietlania bagażu nie są wyposażone w system weryfikacji jakości pracy OKB, czyli w system TIP. Wówczas zgodnie z obowiązującym prawem unijnym (European Commission, 2015b) istnieje obowiązek wykonania kontroli manualnej bagażu kabinowego według z góry określonej procentowo częstotliwości, przy zachowaniu losowości typowania bagażu do kontroli. Wymóg ten związany jest z przyjętym w prawie unijnym silnym naciskiem na czynnik ludzki jako element istotnie wpływający na jakość realizowanej kontroli bezpieczeństwa bagażu. W sytuacji, kiedy praca OKB nie jest na bieżąco poddawana ocenie za pomocą systemu TIP, uznano, że zapewnienie

odpowiedniego poziomu ochrony pasażerów, a tym samym bezpieczeństwa operacji lotniczych można uzyskać poprzez zobligowanie zarządzających portami lotniczymi do zwiększenia liczby kontroli manualnych.

Kontrole, o których mowa powyżej, nazwane przez nas kontrolami manualnymi typu C, realizowane są jednak przede wszystkim w poczuciu konieczności spełnienia obowiązku wynikającego z aktu prawnego, a nie z przekonania, że bagaż pasażera może zawierać przedmiot zabroniony. Taki stan rzeczy powoduje, że kontrole te mogą być wykonywane ze znacznie mniejszą starannością niż kontrole typu B. Istotne znaczenie ma tutaj nastawienie OKB, który pracuje z większą skutecznością, kiedy jest przekonany o zasadności wykonywanej kontroli manualnej.

Oczywiście w sytuacji braku systemu TIP koncepcję podnoszenia skuteczności kontroli bezpieczeństwa bagażu kabinowego poprzez zobligowanie OKB do wykonania z określoną częstotliwością kontroli manualnych ocenić należy w pełni pozytywnie. Jednak przyjęć należy, że skuteczność kontroli typu C jest niższa, niż skuteczność kontroli typu B. Decyzja (European Commission, 2015b) nie zawiera jednoznacznie określonej częstości kontroli typu C, zwłaszcza w sytuacji zwiększonego zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji. W związku z tym zaproponowane funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej *Kontrola manualna typu C* są jedynie inspirowane wspomnianym przepisem. Postać zbiorów rozmytych odpowiadających poszczególnym wartościom przyjmowanym przez tę zmienną przedstawiono na Rysunku 41. Wartość zmiennej *none* jest rozmytym singletonem odpowiadającym sytuacji, kiedy kontrola bagażu kabinowego dokonywana jest na urządzeniu wyposażonym w system TIP. W takim przypadku kontrola typu C nie jest standardowo wykonywana.

Rysunek 41. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej *Liczba kontroli manualnych C*



Źródło: opracowanie własne.

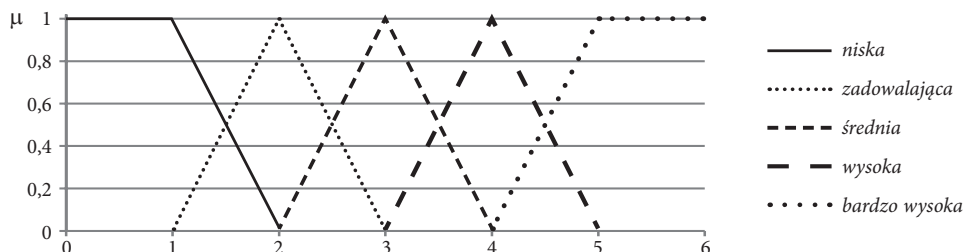
Zwiększenie liczby kontroli manualnych typu C zmniejsza prawdopodobieństwo wniesienia na pokład samolotu przedmiotu zabronionego ukrytego w bagażu kabinowym. Jednakże kontrola manualna bagażu kabinowego jest procesem

czasochłonnym, a zatem, podobnie jak w przypadku kontroli typu B, zwiększenie ich liczby powoduje spadek przepustowości PKB. Wartości *wysoka* i *bardzo wysoka* zmiennej lingwistycznej *Liczba kontroli manualnych C* będą występowały wyłącznie w sytuacji podwyższonego prawdopodobieństwa wystąpienia aktów bezprawnej ingerencji (zamachów terrorystycznych).

71.3. Zmienna wyjściowa *Kontrola manualna*

Zmienna wyjściowa rozmytego modelu wnioskowania *Kontrola manualna* może przyjąć pięć różnych wartości, których funkcje przynależności zostały przedstawione na Rysunku 42.

Rysunek 42. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej *Kontrola manualna*



Źródło: opracowanie własne.

System wnioskowania rozmytego uzupełniają rozmyte reguły wnioskowania. Pochodzą one od grupy ekspertów – doświadczonych OKB oraz osób zarządzających organizacją procesu kontroli bezpieczeństwa bagażu. Reguł tych zdefiniowano 64, niektóre z nich zostały przedstawione w Tabeli 52.

Tabela 52. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu *Kontrola manualna*

Reguła	Ocena pracownika	Liczba kontroli typu B	Liczba kontroli typu C	Kontrola manualna
6	<i>bardzo wysoka</i>	<i>średnia</i>	<i>brak</i>	<i>zadowolająca</i>
19	<i>niska</i>	<i>średnia</i>	<i>niska</i>	<i>niska</i>
26	<i>średnia</i>	<i>wysoka</i>	<i>niska</i>	<i>średnia</i>
49	<i>dowolna</i>	<i>niska</i>	<i>bardzo wysoka</i>	<i>wysoka</i>
58	<i>wysoka</i>	<i>wysoka</i>	<i>bardzo wysoka</i>	<i>bardzo wysoka</i>

Źródło: opracowanie własne.

7.1.4. Walidacja modelu *Kontrola manualna*

Do procesu walidacji wykorzystano oszacowanie statystyczne wartości oczekiwanej liczby bagaży, co do których z niemal pewnością możemy powiedzieć, że nie zawierają zabronionych przedmiotów, przy różnych wartościach wejściowych zmiennych lingwistycznych. Wyniki tego szacowania zostały porównane z ocenami eksperckimi.

Bagaże, o których możemy powiedzieć, że na pewno nie zawierają przedmiotów zabronionych, będziemy dalej nazywać bagażami bezpiecznymi. W pierwszym kroku walidacji dokonano oszacowania minimalnej i maksymalnej liczby bagaży bezpiecznych, zawierających wyłącznie przedmioty dopuszczone do przewozu. Obliczenia przeprowadzono dla partii 1000 bagaży.

Liczba bagaży bezpiecznych osiąga wartość minimalną wówczas, gdy mamy do czynienia z minimalną liczbą kontroli typu B. Minimalna liczba tych kontroli jest zależna od liczby błędów typu B. Te z kolei są zależne głównie od umiejętności pracownika i wahają się między 0,6% a 3,5%. Do oszacowań przyjęto, że minimalna liczba kontroli typu B dla założonej próbki wynosi 20 (2%). Drugim czynnikiem jest liczba kontroli typu C. Przy oszacowaniu od dołu liczby bagaży bezpiecznych przyjęto natomiast, że liczba ta wynosi 0, co jest typowe w przypadku wykorzystywania urządzenia wyposażonego w system TIP. Jako trzeci element szacowania przyjęto, że minimalna liczba bagaży bezpiecznych wystąpi wówczas, gdy kontroli manualnej dokonuje OKB o bardzo niskich kompetencjach, dla którego zmienna lingwistyczna *Ocena pracownika* przyjmuje wartość *bardzo niska*. Oszacowanie liczby błędów popełnianych podczas kontroli manualnej przez OKB zostało dokonane na podstawie badań ankietowych, których częściowe wyniki zostały przedstawione w Tabeli 53.

Tabela 53. Oszacowanie liczby błędów popełnianych przez OKB przy kontroli manualnej

<i>Ocena pracownika</i>	Błędy przy kontroli manualnej [%]				
	Ekspert 1	Ekspert 2	Ekspert 3	Ekspert 4	Średnia
<i>bardzo niska</i>	12	9	29	10	18
<i>niska</i>	10	7	22	8	14
<i>średnia</i>	8	5	15	6	10
<i>wysoka</i>	6	3	8	4	6
<i>bardzo wysoka</i>	4	1	1	2	3

Źródło: opracowanie własne.

Ostatecznie do określenia wariantu najgorszego przyjęto, że pracownik o ocenie *bardzo niska* popełnia 18% błędów przy kontroli manualnej. Ogólnie wzór na szacowaną liczbę bagażu bezpiecznych możemy zapisać w postaci:

$$\overline{y}_m = \overline{y}_p(\overline{x}_B + e_c \cdot \max(0, \overline{x}_C - \overline{x}_B)) \quad (83)$$

gdzie:

\overline{y}_m – przewidywana liczba bagażu bezpiecznych,

\overline{y}_p – skuteczność pracownika o ocenie lingwistycznej y_p , wyrażona jako prawdopodobieństwo tego, że nie popełni on błędu przy kontroli manualnej,

\overline{x}_B – średnia liczba kontroli typu B w przypadku, gdy zmienna lingwistyczna *Liczba kontroli manualnych B* przyjmuje wartość x_B ,

e_c – współczynnik określający stosunek skuteczności kontroli typu C do skuteczności kontroli typu B; na podstawie badania ankietowego przyjęto wartość tego współczynnika równą 0,8,

\overline{x}_C – średnia liczba obowiązkowych kontroli typu C w przypadku, gdy zmienna lingwistyczna *Liczba kontroli manualnych C* przyjmuje wartość x_C .

$\max(0, \overline{x}_C - \overline{x}_B)$ – liczba faktycznie wykonywanych kontroli typu C. Jeśli faktyczna liczba kontroli B jest wyższa niż nakazana liczba kontroli C, wówczas kontroli typu C nie wykonuje się, gdyż obowiązek sprawdzenia pewnego odsetka bagażu jest realizowany przez kontrole typu B. W przypadku przeciwnym wykonuje się kontrole typu C, w liczbie odpowiadającej różnicy między wartością obowiązkową (x_C) a faktycznie wykonaną jako kontrole B (x_B).

Przyjmując określone wyżej współczynniki, otrzymujemy dolne oszacowanie liczby bagażu bezpiecznych w partii 1000 sztuk równe 16,4.

Analogiczne rozumowanie zastosowane zostało dla oszacowania liczby bagażu bezpiecznych od góry. Przyjmujemy więc następujące wartości parametrów:

- kontrolę wykonuje OKB o ocenie *bardzo wysoka*, przyjęto $\overline{y}_p = 0,97$,
- zmienna *Liczba kontroli manualnych B* przyjmuje wartość *bardzo wysoka*, co odpowiada wartości $\overline{x}_B = 250$,
- zmienna *Liczba kontroli manualnych C* przyjmuje wartość *bardzo wysoka*, co odpowiada wartości $\overline{x}_C = 350$, co z kolei oznacza szacowaną liczbę faktycznie przeprowadzonych kontroli typu C równą 100.

Stosując identyczne rozwiązanie, otrzymujemy górne oszacowanie liczby bagażu bezpiecznych w partii 1000 sztuk równe 320. Te dwie skrajne wartości (16,4 bagażu i 320 bagażu) posłużyły do stworzenia skali do walidacji modelu (Tabela 54).

Tabela 54. Skala ocen modelu *Kontrola manualna* na podstawie szacowania liczby bagażu bezpiecznych (do walidacji modelu)

<i>Kontrola manualna</i>	Szacunkowa liczba bagażu bezpiecznych (w partii 1000 sztuk)
<i>niska</i>	48
<i>zadowolająca</i>	96
<i>średnia</i>	175
<i>wysoka</i>	254
<i>bardzo wysoka</i>	302

Źródło: opracowanie własne.

Następnie dla poszczególnych reguł i odpowiadających im wartości zmiennej *Kontrola manualna* wyznaczono szacunkową liczbę bagażu bezpiecznych i porównano ze skalą przedstawioną w Tabeli 46. Przykładowe wyniki tego porównania zamieszczono w Tabeli 55.

Tabela 55. Walidacja modelu *Kontrola manualna*

Reguła	<i>Kontrola manualna</i>	Bezpieczne bagaże	Ocena wg skali (tab. 5)	Reguła	<i>Kontrola manualna</i>	Bezpieczne bagaże	Ocena wg skali (tab. 5)
1	<i>niska</i>	16-19	<i>niska</i>	2	<i>niska</i>	74	<i>niska/zadowolająca</i>
3	<i>niska</i>	77	<i>niska/zadowolająca</i>	4	<i>zadowolająca</i>	81	<i>zadowolająca</i>
5	<i>zadowolająca</i>	85	<i>zadowolająca</i>	6	<i>zadowolająca</i>	87	<i>zadowolająca</i>
7	<i>zadowolająca</i>	139	<i>zadowolająca/średnia</i>	8	<i>zadowolająca</i>	146	<i>zadowolająca/średnia</i>
9	<i>średnia</i>	153	<i>średnia</i>	10	<i>średnia</i>	160	<i>średnia</i>
11	<i>średnia</i>	165	<i>średnia</i>	12	<i>średnia</i>	205	<i>średnia/wysoka</i>
13	<i>średnia</i>	215	<i>średnia/wysoka</i>	14	<i>średnia</i>	225	<i>średnia/wysoka</i>
15	<i>wysoka</i>	235	<i>wysoka</i>	16	<i>wysoka</i>	242	<i>wysoka</i>
17	<i>niska</i>	36-43	<i>niska</i>	18	<i>niska</i>	74	<i>niska/zadowolająca</i>

7. Ocena skuteczności i przepustowości kontroli bagażu kabinowego w porcie lotniczym

Reguła	Kontrola manualna	Bezpieczne bagaże	Ocena wg skali (tab. 5)	Reguła	Kontrola manualna	Bezpieczne bagaże	Ocena wg skali (tab. 5)
19	<i>niska</i>	77	<i>niska/zadawalająca</i>	20	<i>zadawalająca</i>	81	<i>zadawalająca</i>
...
45	<i>wysoka</i>	210	<i>średnia/wysoka</i>	46	<i>wysoka</i>	220	<i>średnia/wysoka</i>
47	<i>wysoka</i>	227	<i>średnia/wysoka</i>	48	<i>wysoka</i>	205–235	<i>średnia/wysoka</i>
49	<i>wysoka</i>	233–275	<i>wysoka</i>	50	<i>wysoka</i>	244	<i>wysoka</i>
51	<i>wysoka</i>	256	<i>wysoka</i>	52	<i>wysoka</i>	258	<i>wysoka</i>
53	<i>wysoka</i>	280	<i>wysoka/ bardzo wysoka</i>	54	<i>bardzo wysoka</i>	289	<i>bardzo wysoka</i>
55	<i>wysoka</i>	257	<i>wysoka</i>	56	<i>wysoka</i>	270	<i>wysoka/ bardzo wysoka</i>
57	<i>wysoka</i>	283	<i>wysoka/ bardzo wysoka</i>	58	<i>bardzo wysoka</i>	295	<i>bardzo wysoka</i>
59	<i>bardzo wysoka</i>	305	<i>bardzo wysoka</i>	60	<i>wysoka</i>	271	<i>wysoka/ bardzo wysoka</i>
61	<i>bardzo wysoka</i>	284	<i>wysoka/ bardzo wysoka</i>	62	<i>bardzo wysoka</i>	297	<i>bardzo wysoka</i>
63	<i>bardzo wysoka</i>	310	<i>bardzo wysoka</i>	64	<i>bardzo wysoka</i>	320	<i>bardzo wysoka</i>

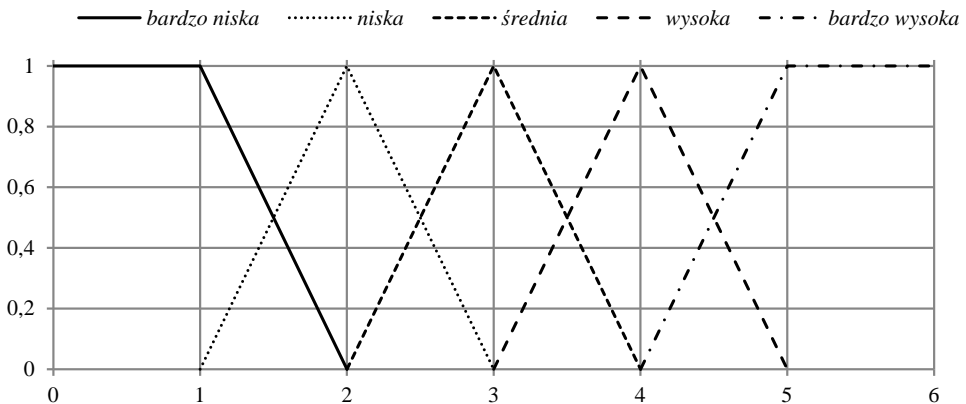
Źródło: opracowanie własne.

Jak widać w przedstawionej tabeli, wartości w kolumnie *Kontrola manualna* (pochodzące z reguł stworzonych przez ekspertów) oraz w kolumnie *Ocena według skali* (pochodzące z oszacowania statystycznego) wykazują doskonałą zgodność. W niektórych przypadkach wartości z oszacowania statystycznego znajdowały się pomiędzy wartościami określonymi przez skalę z Tabeli 54. Jednak w każdym z tych przypadków wartość pochodząca od ekspertów koresponduje z wynikami z obliczeń. Dowodzi to poprawności stworzonego modelu.

7.1.5. Zmienna wyjściowa *Bagaż podręczny*

Zmienna wyjściowa rozmytego modelu wnioskowania *Bagaż podręczny* jest zależna od trzech wejść (Rysunek 33): *Ocena urządzenia* (y_d), *Błędy typu A* (x_{eA}) oraz omówiona już *Kontrola manualna* (y_m). Funkcje przynależności zbiorów rozmytych odpowiadających poszczególnym wartościom zmiennej wyjściowej *Bagaż podręczny* są przedstawione na Rysunku 43.

Rysunek 43. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej *Bagaż podręczny*



Źródło: opracowanie własne.

System wnioskowania rozmytego uzupełniają rozmyte reguły wnioskowania, sformułowane przez grupę ekspertów – praktyków zajmujących się zarządzaniem procesem kontroli bezpieczeństwa bagażu rejestrowanego. Reguł tych zdefiniowano 75, niektóre z nich zostały przedstawione w Tabeli 56.

Tabela 56. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu *Bagaż podręczny*

Reguła	<i>Ocena urządzenia</i>	<i>Błędy typu A</i>	<i>Kontrola manualna</i>	<i>Bagaż podręczny</i>
21	<i>bardzo niska</i>	<i>średnia</i>	<i>zadowolająca</i>	<i>niska</i>
37	<i>niska</i>	<i>średnia</i>	<i>średnia</i>	<i>zadowolająca</i>
57	<i>niska</i>	<i>wysoka</i>	<i>wysoka</i>	<i>średnia</i>
68	<i>średnia</i>	<i>średnia</i>	<i>bardzo wysoka</i>	<i>wysoka</i>
70	<i>bardzo wysoka</i>	<i>średnia</i>	<i>bardzo wysoka</i>	<i>bardzo wysoka</i>

Źródło: opracowanie własne.

7.2. Ocena procesu kontroli bagażu podręcznego w porcie lotniczym

Dla efektywnego wykorzystania uzyskanych rozwiązań teoretycznych stworzono system COBAFAS (Carry-On BAggage Fuzzy ASsessment), który implementuje komputerowo opracowane modele. Dzięki temu narzędziu możliwe jest wykonanie licznych eksperymentów na modelach. Narzędzie to zostało stworzone z myślą o wspomaganianiu służb odpowiedzialnych w porcie lotniczym za organizację ochrony lotniska, a w szczególności za kontrolę bagażu podręcznego. Umożliwia ono ocenę wpływu wyposażenia technicznego oraz składu personalnego pracujących jednocześnie OKB na skuteczność całego procesu kontroli bagażu podręcznego. Warto zauważyć, że stworzone modele pozwalają na łączną ocenę czynnika ludzkiego i technicznego w kontroli bagażu podręcznego. Co istotne, system ten pozwala na ocenę wpływu zastosowanych urządzeń i rozwiązań organizacyjnych niezależnie od zastosowanej techniki i technologii służącej do kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu.

7.2.1. Przykładowa ocena skuteczności kontroli manualnej przy kontroli bagażu podręcznego

Ocena skuteczności kontroli manualnej przy kontroli bagażu podręcznego została dokonana dla czterech punktów kontroli bezpieczeństwa, zlokalizowanych w terminalach A i B portu lotniczego Katowice-Pyrzowice. W wariacie podstawowym przyjęte zostały warunki dla typowego poziomu zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji. Zatem liczbę kontroli manualnych typu B przyjęto zgodnie z pomiarami przedstawionymi w Tabeli 43, jednocześnie przyjmując, że kontrole typu C nie są wykonywane. Wyniki oceny skuteczności kontroli manualnej bagażu podręcznego, dla poszczególnych punktów kontroli bezpieczeństwa, uzyskanych z systemu COBAFAS przedstawione są w Tabeli 57 (zmienna y_{DP} oznacza ocenę grupy OKB i zastępuje w modelu zmienną y_p).

Tabela 57. Wyniki oceny skuteczności kontroli manualnej (EPKT)

PKB	Terminal	y_{DP}	x_B [%]	x_C [%]	Kontrola manualna y_m
PKB-1	A	4,92	8	0	2,0
PKB-2	A	4	10	0	2,0
PKB-3	B	3	11	0	2,0
PKB-4	B	4,46	7	0	2,0

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać, w warunkach standardowego zagrożenia atakiem terrorystycznym ocena skuteczności kontroli manualnej we wszystkich badanych punktach kontroli bezpieczeństwa kształtuje się na poziomie *zadowolająca*. Jest to sytuacja właściwa i spodziewana. Kontrola na poziomie *zadowolająca* odpowiada spełnieniu wszystkich wymogów formalnych, jednocześnie bez podejmowania działań szczególnych, dodatkowych, co pozwala na zapewnienie dużej przepustowości punktu kontroli. Jak widać w Tabeli 57, ocena grupy pracowników na poszczególnych PKB waha się od poziomu *średnia* do poziomu *bardzo wysoka*, przy czym obsada punktów była taka, że w miejscach, gdzie wykonywano najmniej kontroli manualnych, pracowali OKB o najwyższych ocenach, zaś tam, gdzie pracowali OKB o niższej ocenie (na poziomie *średnia*) wykonywano najwięcej kontroli manualnych typu B. Dzięki temu poziom skuteczności kontroli manualnej jest w każdym przypadku taki sam.

7.2.2. Przykładowa ocena systemu kontroli bagażu podręcznego w MPL Katowice-Pyrzowice

Jako drugi krok oceny analizy dokonano oceny skuteczności całego systemu kontroli bagażu podręcznego w MPL Katowice-Pyrzowice. Istniejące w tym porcie lotniczym terminale są wyposażone w różne urządzenia rentgenowskie do kontroli bagażu. W Tabeli 58 przedstawiono specyfikację tych urządzeń wraz z ich oceną dokonaną w pracy (Skorupski & Uchroński, 2015).

Tabela 58. Urządzenia rentgenowskie do kontroli bagażu podręcznego na lotnisku MPL Katowice-Pyrzowice

PKB	Terminal	Urządzenie	γ_d
PKB-1	A	Heimann 6040i	2,1
PKB-2	A	Heimann 6040aTiX	5,2
PKB-3	B	Heimann 6040i	2,5
PKB-4	B	Heimann 6040aTiX	5,2

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki przeprowadzonej oceny skuteczności kontroli bagażu podręcznego przedstawiono w Tabeli 59.

Tabela 59. Wyniki oceny skuteczności kontroli bagażu podręcznego (EPKT)

PKB	Terminal	y_d	x_{eA} [%]	y_m [%]	Bagaż podręczny z_h
PKB-1	A	2,1	12	2,0	2,1
PKB-2	A	5,2	19	2,0	3,0
PKB-3	B	2,5	26	2,0	0,76
PKB-4	B	5,2	13,55	2,0	4,0

Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wyniki pokazują dużą rozbieżność skuteczności kontroli bagażu podręcznego w poszczególnych punktach kontroli bezpieczeństwa.

PKB-1 wyposażony jest w standardowe urządzenie rentgenowskie, dodatkowo mające już 10 lat, którego ocena jest *niska*. Mimo dobrej jakości pracy OKB, charakteryzowanej stosunkowo małą liczbą błędów typu A, końcowa ocena skuteczności kontroli bagażu podręcznego w PKB-1 kształtuje się na poziomie minimalnie przekraczającym ocenę *niska*.

PKB-2 jest wyposażony w stosunkowo nowe urządzenie, posiadające funkcję wykrywania materiałów wybuchowych EDS, co daje mu ocenę *bardzo wysoka*. Uwzględniając to, że pracujący tam OKB popełniają średnią liczbę błędów typu A, ostateczna ocena skuteczności kontroli bagażu podręcznego jest *średnia*.

W PKB-3 zainstalowano również stare urządzenie rentgenowskie, bez funkcji EDS. Dodatkowo pracujący tam OKB wykazali się *dużą* liczbą błędów typu A, co powoduje, że ostateczna ocena skuteczności kontroli bagażu podręcznego w tym punkcie może zostać uznana za *bardzo niską*. Analiza wszystkich parametrów pracy PKB-3 wskazuje, że spełnione są wszystkie normy i przepisy, jednak bardzo niska ocena skuteczności tego punktu powinna spowodować reakcję zarządzających pracą systemu kontroli bezpieczeństwa. Oprócz dość oczywistej rekomendacji sugerującej dodatkowe szkolenia i ćwiczenia zmniejszające liczbę błędów popełnianych przez OKB, można zaproponować rozwiązania o charakterze organizacyjno-technicznym.

PKB-4 uzyskuje najwyższą ocenę skuteczności kontroli, na poziomie *wysoka*. Składa się na to *bardzo wysoka* ocena urządzenia (analogicznie jak w PKB-2) oraz *niska* liczba błędów typu A.

7.2.3. Dobór parametrów pracy systemu kontroli bagażu podręcznego

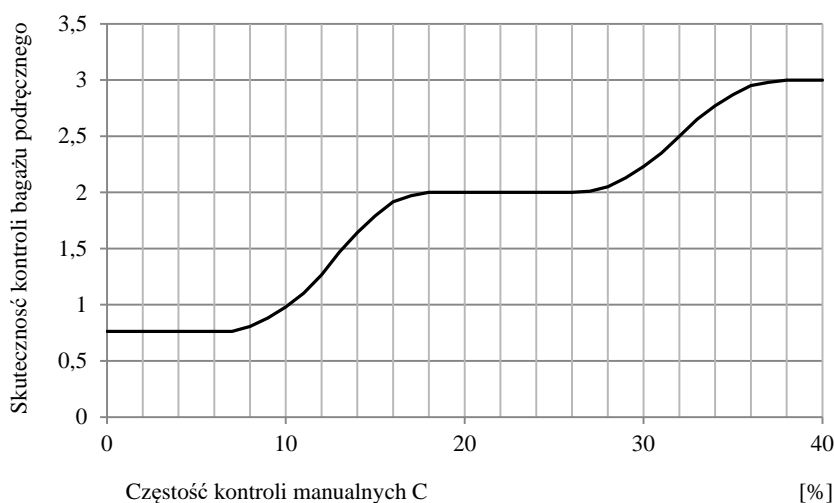
Omawiany system wnioskowania rozmytego może być bardzo przydatny przy planowaniu działań organizacyjnych czy inwestycyjnych w zakresie systemu kontroli bagażu, czy szerzej – systemu zabezpieczeń lotniska. Pozwala bowiem na ocenę skutków działań w kontekście poprawy skuteczności wykrywania przedmiotów

zabronionych w bagażu podręcznym, a tym samym podnoszeniu bezpieczeństwa ruchu lotniczego.

Jednym z obszarów zastosowania opracowanej metody jest dobór obowiązkowej liczby kontroli manualnych bagażu kabinowego (typu C), dokonywanych w punkcie kontroli bezpieczeństwa. Jest to w istocie zagadnienie wielokryterialne. Aby podjąć właściwą decyzję, należy z jednej strony rozważyć przewidywaną wielkość ruchu lotniczego i przepustowość PKB w przypadku stosowania określonej liczby kontroli manualnych. Z drugiej strony należy określić, jaki będzie przyrost poziomu bezpieczeństwa ruchu lotniczego, wyrażony skutecznością wykrywania przedmiotów zabronionych. O ile to pierwsze kryterium jest dobrze zdefiniowane i stosunkowo łatwe do określenia, to drugie jest znacznie trudniejsze ze względu na nieprecyzyjność i subiektywizm samego sformułowania problemu, ale także z uwagi na brak możliwości pomiarowych, a co za tym idzie niepełność dostępnej informacji. Opracowany model i system COBAFAS wspomagają system bezpieczeństwa publicznego w tym zakresie.

Na Rysunku 44 przedstawiono, jak zmienia się skuteczność systemu kontroli bagażu podręcznego w zależności od przyjętej liczby kontroli manualnych typu C, przy takich samych wartościach pozostałych zmiennych wejściowych. Wybrano przy tym PKB-3 jako uzyskujący najniższą ocenę i wymagający działań naprawczych. Wprawdzie jest to punkt, w którym zainstalowano urządzenie rentgenowskie wyposażone w system TIP, a zatem standardowo kontroli typu C się nie wykonuje, jednak w sytuacji konieczności zwiększenia skuteczności można takie kontrole wprowadzić.

Rysunek 44. Wpływ liczby kontroli manualnych C na skuteczność kontroli bagażu podręcznego



Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione wyniki wskazują, że maksymalny poziom skuteczności, jaki można osiągnąć, to średni, przy czym wymaga to wprowadzenia obowiązku wykonywania około 36% kontroli manualnych typu C. Poziom ten jest możliwy do uzyskania w praktyce, jednak występująca wówczas przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa będzie bardzo ograniczona. Stopień tego ograniczenia wymaga odrębnych badań. Wprowadzenie obowiązku wykonania około 16% kontroli typu C pozwala poprawić skuteczność pracy PKB-3 do poziomu *niski*.

Jak widać, samo wprowadzenie obowiązku wykonywania kontroli manualnych daje tylko ograniczony wzrost skuteczności. W Tabeli 60 przedstawiono wyniki analiz z użyciem modelu, w którym rozważone zostały inne możliwe działania, przedstawiając jednocześnie zmiany odpowiednich parametrów wejściowych do modelu.

Tabela 60. Wpływ zmiany parametrów pracy na skuteczność kontroli w PKB-3

Działanie	y_d	x_{eA} [%]	y_{DP}	x_B [%]	x_C [%]	Bagaż podęczny z_h
Brak (wariant podstawowy)	2,5	26	3	11	0	0,76
Wprowadzenie kontroli obowiązkowych	2,5	26	3	11	15	2,0
Wymiana urządzenia na Heimann 6040aTiX	5,2	26	3	11	0	2,0
Zmiana obsady OKB (zamiana z PKB-4)	2,5	13,55	4,46	7	0	2,5
Dodatkowe szkolenia z rozpoznawania obrazów zagrożeń	2,5	12	3	11	0	2,5
Zmiana nastawienia pracownika (zwiększenie czujności)	2,5	26	5	17	0	2,0

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać, istnieje możliwość poprawy skuteczności kontroli bezpieczeństwa prowadzonej w PKB-3 przez stosunkowo proste działania organizacyjne, ale także poprzez inwestycje w bardziej zaawansowany technicznie sprzęt czy szkolenia. Jednak potencjał tej poprawy jest stosunkowo niewielki przy zastosowaniu jednego działania: do poziomu *niska* lub pomiędzy *niska* a *średnia*. Dopiero zastosowanie kilku rozwiązań łącznie może przynieść bardziej widoczną zmianę.

Przeprowadzono także analizę wpływu zmian organizacyjno-technicznych wymienionych w Tabeli 60 na skuteczność innych punktów kontroli bezpieczeństwa. Wyniki przedstawiono w Tabeli 61.

Tabela 61. Wpływ zmiany parametrów pracy na skuteczność kontroli bezpieczeństwa bagażu podręcznego

Działanie	PKB-1	PKB-2	PKB-3	PKB-4
Brak (wariant podstawowy)	2,1	3,0	0,76	4,0
Wprowadzenie kontroli obowiązkowych	3,1	4,0	2,0	5,24
Wymiana urządzenia na Heimann 6040aTiX	4,0	-	2,0	-
Zmiana obsady OKB (zamiana z PKB-4)	-	4,0	2,5	-
Dodatkowe szkolenia z rozpoznawania obrazów zagrożeń	2,1	4,0	2,5	4
Zmiana nastawienia pracownika (zwiększenie czujności)	3,1	5,24	2,0	5,24

Źródło: opracowanie własne.

Ocena ilościowa skutków różnych decyzji pokazuje, że ich wpływ jest silnie zależny od wyjściowego poziomu skuteczności oceny. I tak w przypadku PKB o niskiej ocenie podstawowej najbardziej skuteczne są inwestycje w lepszy sprzęt oraz szkolenia lub też wymiana OKB na lepiej radzących sobie z rozpoznawaniem obrazów wirtualnych zagrożeń. Z kolei w punktach o dobrym wyposażeniu technicznym i wysokiej ocenie początkowej, najkorzystniejsze jest oddziaływanie na nastawienie OKB do obowiązków i uczulanie ich na konieczność reagowania na drobne nawet podejrzenia. Podobny efekt można uzyskać przez wprowadzenie stanu podwyższonego zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji.

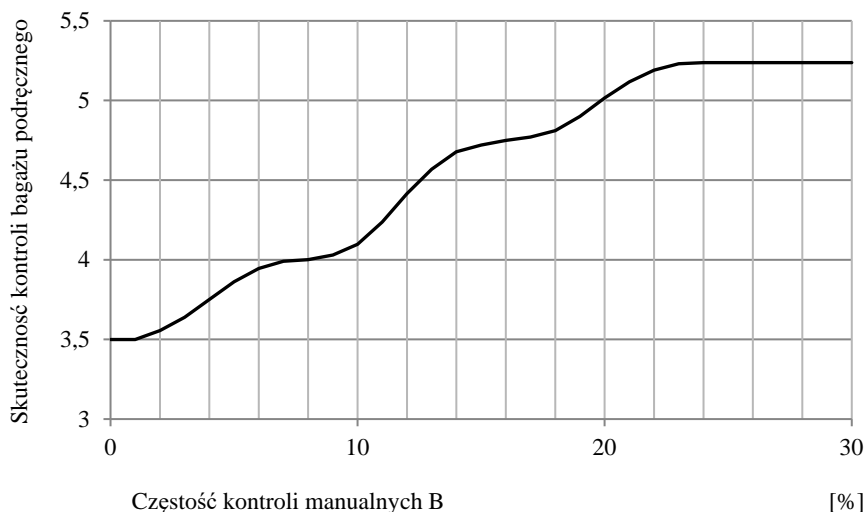
7.2.4. Analiza wpływu wprowadzenia stanu podwyższonego zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji

W zapobieganiu atakom terrorystycznym włączone są różne służby państwowe. W przypadku pozyskania przez służby wywiadowcze informacji o planowanych akcjach, z zasady wprowadzany jest stan podwyższonej gotowości, który skutkuje między innymi zaostrzonymi kontrolami w portach lotniczych. Z punktu widzenia analizy prowadzonej w tej pracy wiązać się to będzie ze wzmożoną czujnością OKB, którzy nawet przy minimalnych wątpliwościach co do zawartości bagażu podręcznego czy zachowania się pasażera będą podejmowali kontrole manualne. Są to kontrole typu B, ponieważ ich wykonanie wiąże się z uzasadnionym podejrzeniem, że bagaż może zawierać przedmioty zabronione. Równoległe do tego władze lotnicze mogą wydać zarządzenie o zwiększeniu częstości kontroli obowiązkowych.

Wykorzystując system COBAFAS, dokonano wyznaczenia wpływu wprowadzenia stanu podwyższonego zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji na

skuteczność wykrywania przedmiotów zabronionych w bagażu podręcznym. Przyjęto, że stan ten będzie polegał na wprowadzeniu obowiązku skontrolowania 20% bagażu manualnie (kontrole typu C), niezależnie od tego, czy urządzenia są wyposażone w system TIP, czy nie, oraz że OKB, mając świadomość zwiększonego zagrożenia, będą częściej podejmowali kontrole bagażu z własnej inicjatywy (kontrole typu B). Oczywiście liczby kontroli typu B nie można w żaden sposób nakazać, jest to wielkość zależna od subiektywnego podejścia poszczególnych OKB. Z tego powodu w przeprowadzonym badaniu zmieniano wartość zmiennej *Liczba kontroli manualnych B* w zakresie od 2% do 30%. Obliczenia wykonano dla PKB-2, osiągającego podstawową ocenę skuteczności na poziomie *średnia*. Wyniki przedstawione są Rysunku 45.

Rysunek 45. Wpływ wprowadzenia stanu podwyższonego zagrożenia na skuteczność kontroli bagażu podręcznego



Źródło: opracowanie własne.

Podwyższanie liczby kontroli manualnych typu B, które może mieć miejsce w przypadku wprowadzenia stanu podwyższonego zagrożenia, daje prawie jednolity wzrost poziomu skuteczności kontroli bagażu podręcznego sprawowanej w PKB. W przypadku badanego PKB wartość maksymalną *bardzo wysoka* osiąga się przy około 18% kontroli typu B. Jest to wielkość, przy której nie przewidujemy znaczących, niedających się zneutralizować ograniczeń przepustowości lotniska. Oznacza to, że podjęcie decyzji o podwyższeniu stopnia zagrożenia może w takim przypadku przynieść rzeczywiste efekty, bez paraliżowania pracy lotniska.

Interesujące jest porównanie, przy jakiej liczbie kontroli typu B uzyskujemy maksymalną ocenę skuteczności kontroli w poszczególnych PKB. Wyniki tego porównania przedstawiono w Tabeli 62.

Tabela 62. Liczba kontroli manualnych B, przy której PKB osiąga najwyższą możliwą ocenę

	PKB-1	PKB-2	PKB-3	PKB-4
Liczba kontroli manualnych [%]	22	18	22	2
Osiągana skuteczność kontroli	<i>wysoka</i>	<i>bardzo wysoka</i>	<i>średnia</i>	<i>bardzo wysoka</i>

Źródło: opracowanie własne.

Osiągany maksymalny poziom skuteczności jest różny dla poszczególnych PKB i osiąga wartości od *średnia* do *bardzo wysoka*. Także liczba kontroli manualnych B, która jest niezbędna do osiągnięcia poziomu maksymalnego, jest różna. Na przykład w konfiguracji PKB-4 w ogóle nie jest wymagane jej zwiększanie. Wynika to z faktu, że OKB popełniają tu tak mało błędów typu A, dysponują na tyle dobrym sprzętem oraz są na tyle dobrze wyszkoleni, że samo narzucenie obowiązku wykonania 20% kontroli manualnych (typu C) jest wystarczające dla uzyskania oceny *bardzo wysoka*.

8. Analiza predyspozycji psychofizycznych osób wykonujących zadania operatorów kontroli bezpieczeństwa

8.1. Wprowadzenie

Lotnisko jest specyficznym miejscem, wymagającym od pracowników realizujących zadania związane z operacjami lotniczymi szczególnych umiejętności i wiedzy specjalistycznej. Jednak sama wyuczona wiedza i praktyka nie są jedynymi czynnikami warunkującymi prawidłowość wykonania obowiązków służbowych, a tym samym bezpieczeństwo operacji lotniczych. Szczególnie zależność ta jest zauważalna podczas realizowanej przez zarządzającego lotniskiem kontroli bezpieczeństwa osób i bagaży. Zadania te wykonują operatorzy kontroli bezpieczeństwa, posiadający jednocześnie wpis na listę kwalifikowanych pracowników ochrony. Niniejsza praca pokazuje, że oprócz niezbędnych do wykonywania ww. zawodu kwalifikacji, bardzo ważne są predyspozycje psychofizyczne. Przedstawione zostały wyniki badań przeprowadzonych z wykorzystaniem specjalistycznego narzędzia, jakim jest polipsychograf. W badaniach wzięły udział osoby, które na co dzień wykonują zadania operatora kontroli bezpieczeństwa. Osoby te mają wieloletnie doświadczenie w wykonywaniu kontroli bezpieczeństwa i posiadają wszelkie wymagane szkolenia i certyfikaty uprawniające do tej pracy. Niezależnie od powyższego, w badaniu uczestniczyły również osoby całkowicie postronne, pracujące w zupełnie odmiennym charakterze i niebiorące udziału w procesie kontroli osób i bagażu. Te dwie grupy zawodowe zostały następnie poddane analizie porównawczej w celu zidentyfikowania cech charakterystycznych dla osób pracujących w ochronie lotniska. Analiza wykazała, że istnieje duża rozbieżność w zakresie koordynacji czasowo-ruchowej osób, które wykonują zadania OKB oraz tych, których praca nie polega na analizie obrazu prześwietlanego za pomocą urządzenia RTG. Szczególnie zależności te można zaobserwować podczas działań wymagających zaangażowania co najmniej kilku obszarów percepcji. Nie bez

znaczenia dla wyniku dokonywanej oceny pozostaje również fakt, że pracownicy ochrony zatrudnieni na lotnisku przechodzą odpowiednio wcześniej szczegółowe badania lekarskie określające możliwość wykonywania tego zawodu. Praca przedstawia te zależności i ich wpływ na proces kontroli bezpieczeństwa oraz w konsekwencji na skuteczność wykonywanych przez OKB zadań i poziom bezpieczeństwa portu lotniczego.

Kontrola bezpieczeństwa osób i bagażu na lotnisku jest jednym z niezbędnych wymogów warunkujących możliwość korzystania z lotniczego środka transportu publicznego. Obowiązek ten stanowi swego rodzaju dolegliwość dla pasażera, który wybierając lotniczy środek transportu, musi poddać się wymogom – czasami bardzo restrykcyjnym – określonym w przepisach krajowych i unijnych dotyczących ochrony lotnictwa cywilnego. Kontrola ta wykonywana jest przy użyciu specjalistycznego sprzętu, którego skuteczność bardzo często decyduje o jakości kontroli. Zaawansowane urządzenia techniczne nie tylko wspomagają bowiem pracę człowieka, ale również istotnie wpływają na przepustowość lotniska. Głównym celem wykonywanej kontroli bezpieczeństwa jest niedopuszczenie do przewozu na pokładzie statków powietrznych przedmiotów i substancji zabronionych. Katalog tych rzeczy dość precyzyjnie został określony w Rozporządzeniu UE 2015/1998. Należą do nich:

- pistolety, broń palna i inne urządzenia wystrzeliwujące pociski – urządzenia nadające się lub wyglądające na nadające się do użycia w celu spowodowania ciężkiego obrażenia ciała przez wystrzelenie pocisku,
- urządzenia do ogłuszania – urządzenia przeznaczone specjalnie do ogłuszania lub unieruchamiania,
- przedmioty z ostrym zakończeniem lub ostrą krawędzią – przedmioty z ostrym zakończeniem lub ostrą krawędzią nadające się do użycia w celu spowodowania ciężkiego obrażenia ciała,
- narzędzia robocze – narzędzia nadające się do użycia w celu spowodowania ciężkiego obrażenia ciała lub zagrożenia dla bezpieczeństwa statku powietrznego,
- tępe narzędzia – przedmioty nadające się do użycia w celu spowodowania ciężkiego obrażenia w razie ich wykorzystania do uderzenia,
- materiały i urządzenia wybuchowe oraz substancje i urządzenia zapalające – materiały i urządzenia wybuchowe oraz substancje i urządzenia zapalające nadające się lub wyglądające na nadające się do użycia w celu spowodowania ciężkiego obrażenia ciała lub stworzenia zagrożenia dla bezpieczeństwa statku powietrznego,

Katalog tych przedmiotów nie jest jednak wymieniony w rozporządzeniu w sposób enumeratywny, pozwalający operatorowi kontroli bezpieczeństwa (OKB) ocenić, czy dany przedmiot lub substancja może stanowić zagrożenie dla

wykonywanej w danym czasie operacji lotniczej. Tym samym to właśnie od wyszkolenia oraz umiejętności OKB zależy bezpieczeństwo pasażerów korzystających z omawianej formy transportu.

Kontrolę bezpieczeństwa wykonują operatorzy kontroli bezpieczeństwa – osoby posiadające szczególne szkolenia, dedykowane do realizacji zadań polegających na prześwietlaniu bagażu oraz kontroli osób przedostających się do chronionych stref lotniska. Umiejętności te potwierdzone są państwowym certyfikatem, wydanym przez Urząd Lotnictwa Cywilnego.

Operator kontroli bezpieczeństwa posiada więc oprócz formalnych uprawnień także specjalistyczną wiedzę teoretyczną pozwalającą mu na analizować sytuacje, jakie mogą mieć miejsce w punkcie kontroli bezpieczeństwa, oraz podejmować decyzje oparte na obowiązujących regulacjach prawnych i tzw. heurystyce. Heurystyka odgrywa coraz większą rolę w sposobie działania osób. Polega ona na wykorzystaniu praktycznych reguł postępowania opartych na doświadczeniu oraz stosowaniu uproszczonych sposobów oceny sytuacji, pozwalających oszczędzić czas i zasoby stosowane do rozwiązywania problemów nieustrukturalizowanych.

Uprawnienia formalnoprawne do wykonywania kontroli bezpieczeństwa nie są jedynymi czynnikami warunkującymi uzyskanie wymaganej skuteczności zadań realizowanych przez OKB. Oprócz wiedzy teoretycznej bardzo ważne jest nastawienie pracownika do wykonywanych obowiązków, jego doświadczenie oraz stopień wyszkolenia. Szczegółowo temat skuteczności kontroli bezpieczeństwa w kontekście doboru pracowników przedstawiony został w pracy (Skorupski & Uchroński, 2016).

Niemniej jednak ważnym argumentem, decydującym o wyborze kandydatów na operatora kontroli bezpieczeństwa, są predyspozycje psychofizyczne. Temat ten, bardzo wrażliwy ze społecznego punktu widzenia, omijany jest w literaturze, skłaniając się głównie w kierunku oceny pracy aktywnych operatorów kontroli bezpieczeństwa, którzy już wykonują swoje obowiązki. Podjęto więc próbę zbadania predyspozycji psychofizycznych zarówno aktywnych OKB, jak i potencjalnych kandydatów na OKB, którzy nie mają żadnego doświadczenia w ochronie lotnictwa cywilnego. Podejście to może pozwolić na tzw. preselekcję kandydatów na OKB, wyłaniając spośród nich jedynie te osoby, które rokują najlepiej w zakresie posiadanych zdolności analizy prześwietlanego obrazu oraz rozważania potencjalnych problemów.

Podczas kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu OKB wystawiony jest na szereg bodźców zewnętrznych związanych z obsługą pasażerów. Kontrola dostępu, przygotowanie pasażera do kontroli, rozmowy to tylko kilka z wielu czynników, które bardzo istotnie wpływają na sposób i skuteczność wykonywanej kontroli bezpieczeństwa.

Szczególnie w badanym obszarze daje się zaobserwować funkcjonowanie modelu Nideffera, który podzielił uwagę człowieka na cztery typy: wąską, szeroką, wewnętrzną i zewnętrzną. Model ten obrazuje sposób funkcjonowania człowieka podczas wykonywania przez niego obowiązków. Z kolei obszary predyspozycji wymienione wyżej bardzo istotnie wpływają na predyspozycje psychofizyczne pracowników wykonujących zadania w obszarze kontroli bezpieczeństwa oraz na skuteczność tej kontroli.

W celu zbadania wpływu predyspozycji psychofizycznych pracowników wykonujących zadania OKB na skuteczność wykonywanej przez nich kontroli przeprowadzono testy z udziałem OKB czynnie pracujących na punktach kontroli bezpieczeństwa. Do testów zostało użyte specjalistyczne urządzenie, przeznaczone do badania osób w zakresie poprawności działania w środowisku narażonym na silne oddziaływanie stresu oraz presji czasu. Urządzeniem tym jest Polipsychograf.

8.2. Narzędzie badawcze - Polipsychograf

Badania wykonano z wykorzystaniem systemu przeznaczonego do projektowania i przeprowadzania psychologicznych zadań testujących sprawności umysłowe, poznawcze i motoryczne człowieka w związku z oceną jego możliwości zawodowych lub diagnozą ewentualnych deficytów różnego pochodzenia. System ten służy do pomiaru zmiennych psychologicznych i psychofizjologicznych badanej jednostki.

Testowane sprawności są ujmowane w kontekście towarzyszących im reakcji i procesów fizjologicznych, manifestujących się poprzez reakcję skórno-galwaniczną, głębokość i częstotliwość oddechu, częstotliwość tętna – co pozwala na dodatkową interpretację uzyskanych danych. W jednym i drugim przypadku oprócz gotowego zestawu zadań testowych i rehabilitacyjnych istnieje możliwość samodzielnego zaprojektowania własnych zadań testowych lub rehabilitacyjnych (ze względu na ich zawartość merytoryczną, formę, rytm ekspozycji itp.). Dzięki temu możliwa jest indywidualizacja procesu diagnostycznego lub rehabilitacyjnego. Urządzenie może zatem służyć także do testowania hipotez badawczych w badaniach naukowych z zakresu psychofizjologii.

System składa się z trzech zasadniczych elementów. Są nimi:

- komputer (przenośny lub stacjonarny),
- program sterujący,
- miernik stanu psychofizjologicznego.

W systemie komputer pełni funkcje programowania oraz sterowania zarówno procesem diagnostycznym, jak i terapeutycznym. Jego oprogramowanie umożliwia

elastyczny dobór narzędzi testowych w zależności od badanej sfery i ma charakter otwarty. Oznacza to, że można je stopniowo rozszerzać o nowe aplikacje lub modyfikować istniejące. Na Rysunku 46 przedstawiono wizualizację urządzenia.

Rysunek 46. Zdjęcie poglądowe Polipsychografu



Źródło: opracowanie własne.

Testom poddanych zostało 5 OKB – osób doświadczonych, pracujących od co najmniej kilku lat bezpośrednio w PKB, realizujących zadania związane z kontrolą bezpieczeństwa osób i bagażu. Praca ta wymaga od nich umiejętności pozwalających na realizację podstawowego obowiązku, jakim jest zapewnienie bezpieczeństwa operacji lotniczej.

8.3. Zależność skuteczności kontroli pasażerów i bagażu oraz przepustowości PKB od predyspozycji psychofizycznych pracowników

Jedną z umiejętności wymaganych od OKB jest podzielność uwagi, którą Nideffer zobrazował w sposób określony w Tabeli 63.

Tabela 63. Podzielność uwagi wg Nideffera

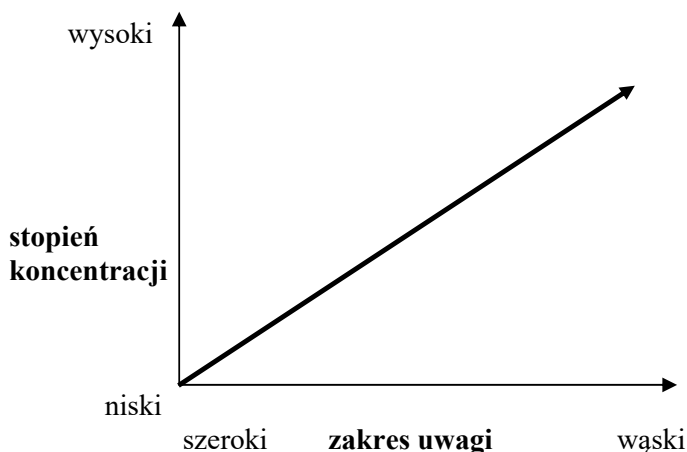
		Kierunek koncentracji	
		Zewnętrzna	Wewnętrzna
Obszar koncentracji	Szeroka	Szeroka zewnętrzna Wykorzystywana w szybkiej ocenie sytuacji – np. ocena, gdzie znajduje się zagrożenie.	Szeroka wewnętrzna Wykorzystywana w analizie bieżącej pracy oraz jej planowaniu – np. analizowanie, dlaczego przedmiot nie został wykryty.
	Wąska	Wąska wewnętrzna Koncentracja wyłącznie na jednej lub dwóch zewnętrznych sprawach.	Wąska zewnętrzna Wykorzystywana w trakcie wizualizacji przyszłych czynności oraz kontroli emocji – np. kontrola poziomu stresu.

Źródło: Nideffer, 1994.

Podczas analizy prześwietlanego obrazu w wielu sytuacjach następuje zmiana koncentracji (przełączanie uwagi) z jednej na drugą. Wg Nideffera kontrola koncentracji oznacza więc kontrolę zarówno nad jej kierunkiem, jak i zakresem. Kiedy OKB ma problemy np. natury osobistej, oznacza to, że używa niewłaściwego sposobu koncentracji w danej sytuacji.

Skuteczna koncentracja oznacza więc używanie jej właściwego rodzaju w danej sytuacji. OKB tracą koncentrację, gdy w trakcie kontroli zwracają uwagę na niewłaściwy obiekt. Zależność pomiędzy zakresem uwagi oraz stopniem koncentracji pokazuje poniższy wykres (Unesthal, 1988).

Rysunek 47. Zależność pomiędzy zakresem uwagi a stopniem koncentracji



Źródło: opracowanie własne.

Testy z udziałem OKB miały za zadanie z jednej strony określić poziom koncentracji wymaganej do realizacji zadań przez OKB i wskazać niezbędne predyspozycje psychofizyczne pracowników, a z drugiej określić zależność pomiędzy wynikami przeprowadzonych testów a poziomem możliwej do uzyskania skuteczności kontroli bezpieczeństwa bagażu. Z kolei skuteczność kontroli bezpieczeństwa poszczególnych osób uczestniczących w testach weryfikowana będzie na podstawie systemu HMC (Heimann Management System), gdzie weryfikowane są wyniki pracy wszystkich OKB. Na podstawie tego narzędzia – weryfikującego jakość pracy OKB w oparciu o wirtualną projekcję obrazów przedmiotów zabronionych (TIP) wyświetlanych w czasie rzeczywistym na ekranie monitora obsługującego urządzenie RTG – osoby odpowiedzialne za jakość realizowanej kontroli bezpieczeństwa na lotnisku uzyskują wiedzę w zakresie umiejętności, a tym samym skuteczności operatorów podczas ich pracy.

Testy realizowane były w następujących obszarach weryfikujących oddziaływanie behawioralne na respondentów:

- test dodawania (trzy testy o różnym stopniu trudności),
- test liczb (polegający na wyszukiwaniu na matrycy wskazanej przez system liczby),
- test koordynacji złożonej (polegający na jak najszybszym zaznaczeniu właściwego wyniku dodawania dwóch wyświetlanych cyfr),
- test koordynacji prostej (polegający na weryfikacji koordynacji motorycznej poprzez poprawną identyfikację klawisza przyporządkowanego do wyświetlanej na ekranie monitora liczby),
- test linii (polegający na określeniu liczby linii wyświetlanych na monitorze),
- test zapamiętywania literału (polegający na zapamiętywaniu ciągu znaków i ich odtworzeniu z pamięci).

Testy te (z wyjątkiem testu linii) wymagały od OKB pracy na czas, co symulowało rzeczywiste warunki pracy OKB, działających pod ciągłą presją czasu oraz związanego z tym stresu. Test linii z kolei dostarczał informacji o OKB w zakresie umiejętności postrzegania w przestrzeni. Jest to zdolność niezwykle cenna, gdyż podstawowym zadaniem OKB jest właśnie analiza obrazu prześwietlanego bagażu. Od tej umiejętności zależy również skuteczność ich pracy.

8.4. Badania z wykorzystaniem Polipsychografu

8.4.1. Pomiary czasu wykonanych testów

Temat badania predyspozycji OKB (lub kandydatów na OKB) jest często pomijany w procesie rekrutacji personelu lub szkolenia pracowników ochrony. Zwraca się tutaj uwagę głównie na cechy (sprawność) fizyczne kandydata oraz ewentualne

umiejętności rozróżniania kolorów jako niezbędnego elementu, warunkującego możliwość analizy prześwietlanego bagażu. Zarówno w praktyce, jak i w literaturze brakuje metody dokonywania preselekcji kandydatów na OKB, która prognozowałaby uzyskanie wymaganej skuteczności kontroli bezpieczeństwa bagażu. Metoda taka umożliwiałaby precyzyjny dobór kadry odpowiedzialnej za ochronę lotniska w przedmiotowym zakresie, z drugiej strony z kolei pozwalałaby delegować obowiązki zgodnie z możliwościami wynikającymi z ograniczeń psychofizycznych pracowników.

Taką propozycję przedstawienia metody oceny zarówno OKB, jak i kandydatów na OKB, zawarto w tej części pracy.

Tabela 64 zawiera zestawienie wyników testów przeprowadzonych z udziałem OKB.

Tabela 64. Zestawienie wyników testów przeprowadzonych z udziałem operatorów kontroli bezpieczeństwa

	OKB 1	OKB 2	OKB 3	OKB 4	OKB 5
Test 1	30,36	13,53	17,15	13,92	12,30
Test 2	12,04	16,34	14,78	15,33	8,99
Test 3	19,96	20,13	22,93	18,05	15,65
Test 4	54,41	36,59	57,30	35,43	59,25
Test 5	59,86	59,95	59,96	59,93	59,96
Test 6	36,93	47,85	45,49	43,76	37,21
Test 7	59,80	59,91	59,93	59,89	59,95
Test 8	101,60	159,30	177,09	203,31	124,43
średnia	46,87	51,70	56,83	56,20	47,22

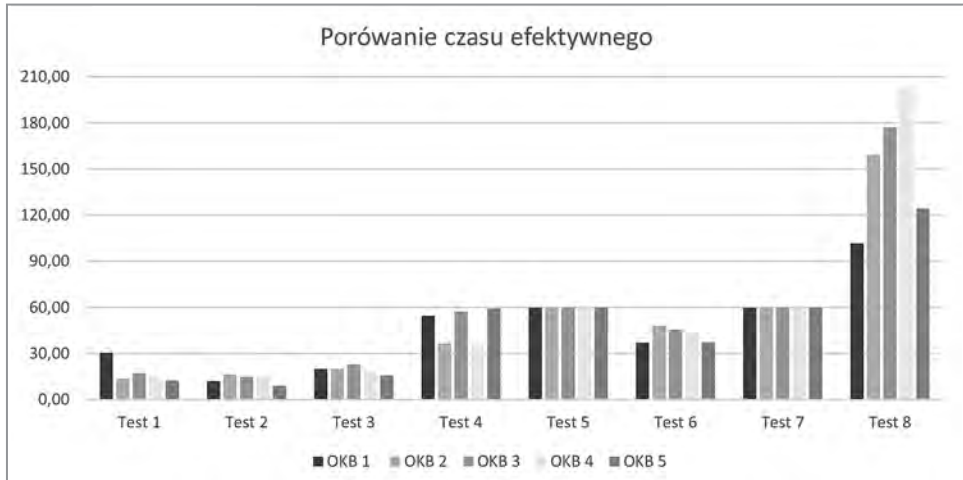
Źródło: opracowanie własne.

Jak można zauważyć, największe różnice w czasie niezbędnym do wykonania danego testu widoczne są podczas realizacji testu 4 i testu 8. Test 4 (test liczb) wymagał umiejętności postrzegania przestrzennego – zadaniem badanych było odśledzenie na macierzy liczb liczby wskazanej przez program testowy.

Najlepiej z tym zadaniem poradziły sobie dwie osoby, osiągając czas blisko dwukrotnie krótszy od pozostałych OKB (OKB 2 i OKB 4). Na tej podstawie można stwierdzić, że osoby te (OKB 2 i OKB 4) wyróżniają się spośród badanych zdolnością analizy przestrzennej, tym samym będą pracować bardziej efektywnie w PKB, analizując zawartość prześwietlanego bagażu. Pozostałe osoby (OKB 1, OKB 3, OKB 5) również wykonały poprawnie test, ale potrzebowały około 40% więcej czasu na jego wykonanie.

Reprezentację graficzną wyników tych testów przedstawiono na Rysunku 48.

Rysunek 48. Reprezentacja graficzna wyników testów



Źródło: opracowanie własne.

Równie znaczące różnice można zaobserwować, analizując wyniki testu 8. Tutaj operatorzy mieli wykazać się zdolnością zapamiętywania literału – zapamiętać ciąg liczb, a następnie z pamięci odwzorować ich kolejność wyświetloną na monitorze urządzenia. Podczas tego testu na wyróżnienie zasłużyli OKB 1 i OKB 4, którzy wykonali to zadanie w najkrótszym czasie. Test ten pokazał, jaki wpływ na proces kontroli bezpieczeństwa ma zdolność zapamiętywania obrazu przedstawionego na monitorze. Jest to niezwykle cenna i przydatna umiejętność w przypadku kontroli manualnej bagażu, kiedy OKB fizycznie przeszukuje bagaż, co do którego ma się uzasadnione podejrzenie, że zawiera przedmiot lub substancję zabronione. Z drugiej strony tak wyćwiczona pamięć pozwala na szybkie zapamiętanie licznych procedur i kolejności zadań wykonywanych przez OKB. To z kolei minimalizuje ryzyko podjęcia błędnych decyzji i popełnienia błędu skutkującego obniżeniem efektywności realizowanej kontroli operacji lotniczych.

8.4.2. Analiza pomiarów błędnych odpowiedzi podanych przez pracowników

Aby jednak rzetelnie ocenić jakość realizowanych przez OKB testów w kontekście ich rzeczywistych predyspozycji, konieczne jest odniesienie wyników czasu potrzebnego na ukończenie testów do poprawności ich wykonania. Te zależności przedstawione są w Tabeli 65. Błędne odpowiedzi można zauważyć podczas wykonywania zadań w przypadku czterech testów, przy czym w teście 1 tylko jeden z pracowników zaznaczył błędną odpowiedź, co można statystycznie potraktować

jako margines błędu. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku testu 3. Oba wyżej wymienione testy dotyczyły sumowania liczb wyświetlanych na monitorze. W drugim przypadku OKB 3 pomylił się jednak dwukrotnie, co może sugerować negatywny wpływ stresu na poprawność odpowiedzi, a tym samym na liczbę błędów, jakie pracownik może popełniać podczas wykonywania obowiązków służbowych w PKB.

Tabela 65. Analiza poprawności wykonanych testów

	OKB 1	OKB 2	OKB 3	OKB 4	OKB 5
Test 1 [max 5]	4	5	5	5	5
Test 3 [max 10]	10	10	8	10	10
Test 6 [max 9]	7	7	9	9	8
Test 8 [max 14]	4	11	10	11	11

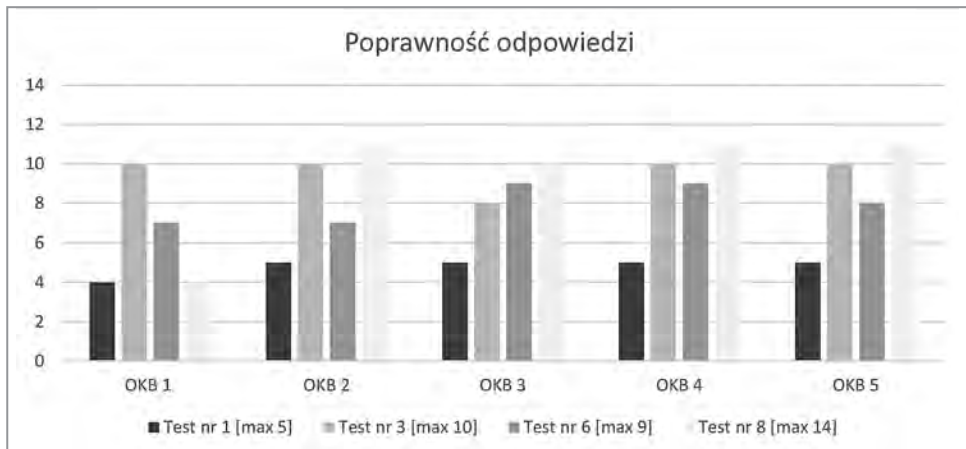
Źródło: opracowanie własne.

Na szczególną uwagę zasługują wyniki testu nr 6 (test linii) i testu nr 8 (test zapamiętywania literału). Jak możemy zauważyć w Tabeli 65, najwięcej trudności sprawiły uczestnikom testów te właśnie badania. Poprawnych odpowiedzi na wszystkie zadania określone w teście nr 6 udzieliło jedynie dwóch respondentów (OKB 3 i 4). Natomiast najszybciej test ten ukończyli OKB 1 i 5, przy czym na 9 możliwych punktów osiągnęli oni odpowiednio 7 i 8 punktów, co biorąc pod uwagę charakter i czas testów jest wynikiem zadowalającym.

Test 8 wymagał od OKB wykazania się umiejętnością odtworzenia z pamięci ciągu wskazanych przez system liczb. Test ten miał za zadanie pokazać wpływ funkcjonowania pamięci krótkotrwałej na proces skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych. Jak możemy zaobserwować w Tabeli 65, czterej OKB (OKB 2, 3, 4, 5) zbliżyli się do maksymalnej liczby możliwych do uzyskania punktów. OKB 1 osiągnął najmniej punktów, co można interpretować jako niepewność w działaniu w praktyce z powodu niewłaściwie utrwalonego materiału.

Reprezentację graficzną wyników przeprowadzonych testów przedstawiono na Rysunku 49.

Rysunek 49. Reprezentacja graficzna wyników przeprowadzonych testów



Źródło: opracowanie własne.

Zaznaczyć należy, że w teście wzięli udział OKB z co najmniej kilkuletnim doświadczeniem i mający bogatą wiedzę merytoryczną oraz praktyczną.

8.4.3. Analiza wpływu predyspozycji psychofizycznych OKB na skuteczność kontroli bezpieczeństwa

Wyniki pracy OKB są możliwe do zweryfikowania w dedykowanym do tego celu systemie HMC, który dostarcza osobom nadzorującym na co dzień ich pracę wiedzy na temat poziomu skuteczności wykrywania. Na tej podstawie możemy ocenić istnienie zależności skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych ukrytych w bagażu pasażerów od przeprowadzonych badań z wykorzystaniem Polipsychografu oraz predyspozycji badanych osób.

W Tabeli 66 przedstawiono wyniki tej oceny dostarczonej przez system HMC.

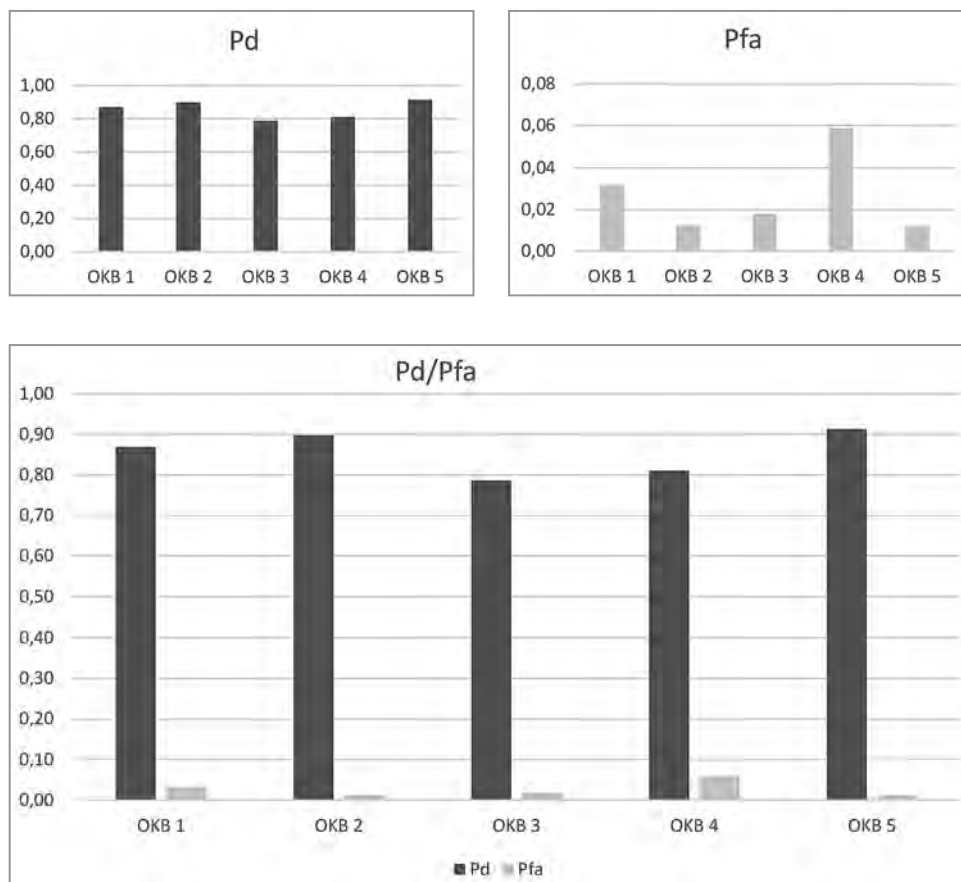
Tabela 66. Wyniki oceny dostarczonej przez system HMC

Nazwisko	Pd	Pfa
OKB 1	0,87	0,03
OKB 2	0,90	0,01
OKB 3	0,79	0,02
OKB 4	0,81	0,06
OKB 5	0,91	0,01

Źródło: opracowanie własne.

Analizując dane, zauważyć można, że spośród badanych na wyróżnienie zasługuje dwóch OKB (OKB 2, OKB 5), którzy osiągają największy odsetek wykrywalności (Pd), przy jednoczesnym najniższym wskaźniku błędnych wskazań (PFA). Zależności te przedstawiono na Rysunku 50.

Rysunek 50. Zależność wykrywalności przedmiotów zabronionych od wskaźnika liczby błędnej interpretacji obrazu



Źródło: opracowanie własne.

Analizując wyniki przeprowadzonych badań z wykorzystaniem Polipsychografu oraz zestawiając je z realnymi wynikami skuteczności OKB w wykrywaniu przedmiotów zabronionych, można stwierdzić, że predyspozycje psychofizyczne osób wykonujących zadania związane z kontrolą bezpieczeństwa są jednym z kluczowych elementów determinujących możliwość pracy w tym zawodzie.

Przeprowadzone badania pokazały precyzyjnie, że badani cechują się bardzo zbliżonymi zdolnościami psychofizycznymi. Jest to o tyle uzasadnione, że osoby te, jako że posiadają uprawnienia kwalifikowanych pracowników ochrony (zdobyte w oparciu o regulacje prawne dot. ochrony osób i mienia), przechodzą szereg psychologicznych i fizycznych badań, w wyniku których potwierdza się ich kwalifikacje do posiadania i stosowania środków przymusu bezpośredniego.

Pracownicy ochrony przechodzą szczegółowe badania lekarskie, które obejmują następujące elementy:

1. ogólne badanie stanu zdrowia, w tym ocenę narządu słuchu i równowagi, układu krążenia, układu ruchu i układu nerwowego,
2. badania specjalistyczne:
 - okulistyczne, w zakresie oceny narządu wzroku, zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 15 ust. 7 ustawy z dnia 21 maja 1999 r. o broni i amunicji (Dz. U. z 2012 r. poz. 576 oraz z 2013 r. poz. 829),
 - psychiatryczne, w zakresie zaburzeń psychicznych, o których mowa w ustawie z dnia 19 sierpnia 1994 r. o ochronie zdrowia psychicznego (Dz. U. z 2011 r. nr 231, poz. 1375), oraz stanów chorobowych i zaburzeń funkcjonowania psychologicznego określonych w przepisach wydanych na podstawie art. 15 ust. 9 ustawy z dnia 21 maja 1999 r. o broni i amunicji,
3. inne badania specjalistyczne i badania pomocnicze – w przypadku stwierdzenia przez lekarza uprawnionego do przeprowadzania badania lekarskiego, zwanego dalej „uprawnionym lekarzem”, że są one niezbędne do prawidłowej oceny stanu zdrowia osoby ubiegającej się o wpis lub posiadającej wpis na listę kwalifikowanych pracowników ochrony fizycznej.

Dodatkowo każdy pracownik przechodzi – z częstotliwością minimum co 3 lata – szczegółowe badania psychologiczne obejmujące:

1. ocenę:
 - sprawności intelektualnej,
 - osobowości, z uwzględnieniem funkcjonowania w trudnych sytuacjach,
 - poziomu dojrzałości społecznej i emocjonalnej,
 2. inne badania psychologiczne – w przypadku stwierdzenia przez psychologa uprawnionego do przeprowadzania badania psychologicznego, zwanego dalej „uprawnionym psychologiem”, że są one niezbędne do prawidłowej oceny funkcjonowania psychologicznego osoby ubiegającej się o wpis lub posiadającej wpis na listę kwalifikowanych pracowników ochrony fizycznej.
- (Źródło: Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 grudnia 2013 r. w sprawie badań lekarskich i psychologicznych osób ubiegających się o wpis lub posiadających wpis na listę kwalifikowanych pracowników ochrony fizycznej).

8.4.4. Walidacja wyników badań

Przeprowadzone badania pokazały dodatkowo, że oprócz wspólnych predyspozycji do wykonywania konkretnego zawodu, bardzo istotne są kierunkowe i specjalistyczne szkolenia i praktyka. Szkolenia te pozwalają bowiem na ćwiczenie zmysłów, które są najbardziej wykorzystywane w pracy. Aby potwierdzić tę tezę, przetestowano na Polipsychografie 5 osób niezwiązanych w żaden sposób z ochroną lotnictwa cywilnego; do ich zadań należy głównie obsługa naziemna samolotów. Wyniki tych testów przedstawiono w Tabeli 67.

Tabela 67. Wyniki testów osób nierealizujących zadań dot. kontroli bezpieczeństwa

Pomiar efektywnego czasu wykonania testów					
	Czas efektywny 1	Czas efektywny 2	Czas efektywny 3	Czas efektywny 4	Czas efektywny 5
Test 1	20,21	17,23	18,44	18,06	17,79
Test 2	15,90	17,52	15,15	11,35	18,13
Test 3	30,29	19,38	21,67	26,65	42,06
Test 4	92,33	48,91	44,74	54,87	60,99
Test 5	59,84	60,02	59,97	59,96	60,00
Test 6	44,80	49,40	57,74	45,06	83,04
Test 7	59,86	59,93	59,98	59,88	59,92
Test 8	212,69	232,03	253,68	152,18	256,19

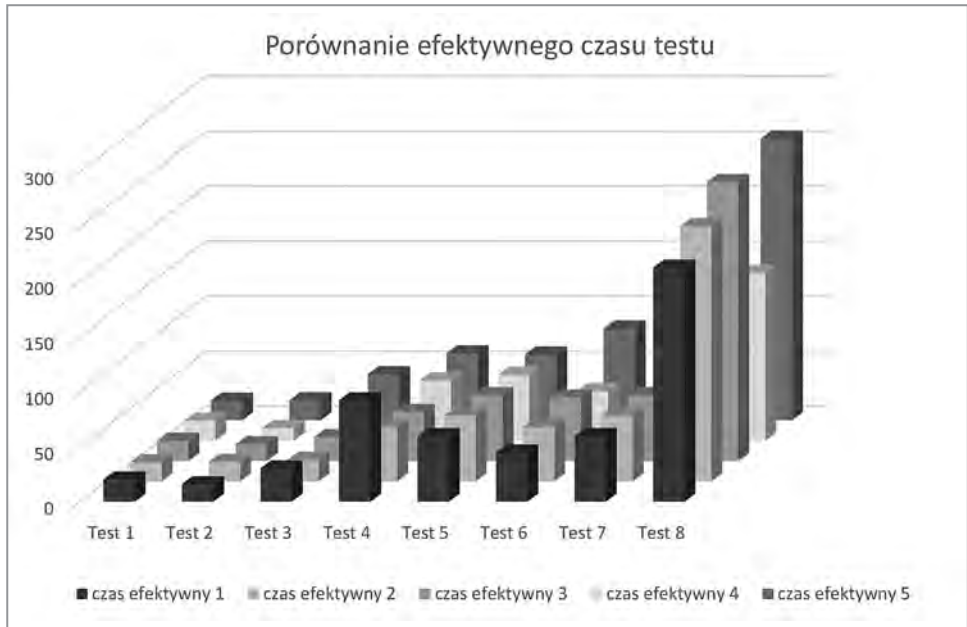
Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych z Tabeli 67 można stwierdzić, że istnieje duża rozbieżność w zakresie koordynacji czasowo-ruchowej osób, które wykonują zadania OKB oraz osób, których praca nie polega na analizie obrazu prześwietlanego za pomocą urządzenia RTG. W szczególności zależności te można zaobserwować podczas działań wymagających zaangażowania co najmniej kilku obszarów percepcji.

Największe różnice możemy zaobserwować w badanym obszarze, porównując wyniki testów 4, 6 i 8, gdzie liczyła się poprawna koordynacja ruchowa przy jednoczesnej presji czasu i konieczność dokonywania analizy myślowej zadanego obszaru. Dodatkowo test 8 pokazał, jak bardzo ważne jest dla pracy OKB postrzeganie

przestrzenne, pozwalające na właściwą analizę obrazu. Na Rysunku 51 zobrazowano w formie graficznej ww. zależności:

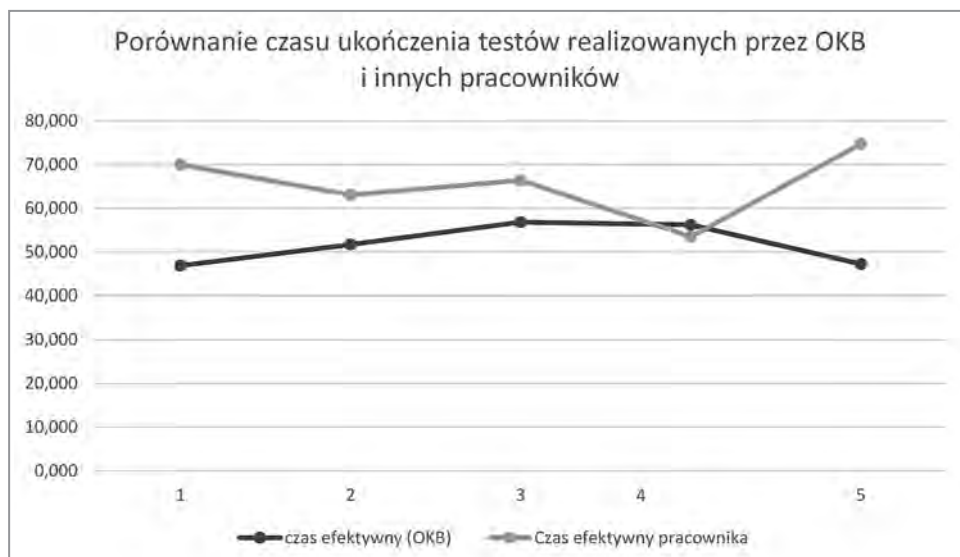
Rysunek 51. Wyniki testów osób nierealizujących zadań dot. kontroli bezpieczeństwa



Źródło: opracowanie własne.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają wysunąć hipotezę, że oprócz naturalnych umiejętności posiadanych przez OKB oraz tych nabytych podczas szkoleń z wykorzystaniem specjalistycznych urządzeń, bardzo ważne są pozamerytoryczne elementy, istotnie wpływające na sposób i jakość pracy OKB. Elementy te, wspomniane już w tej pracy, to także nastawienie pracownika do wykonywanych zadań. Nastawienie to, powiązane z motywacją pracownika, stanowi o istnieniu tzw. czynnika ludzkiego, który nadal jest głównym powodem występowania szeroko rozumianych niedogodności i błędów, będących wyznacznikiem jakości wykonywanej pracy i oceny działania systemu bezpieczeństwa portu lotniczego.

Rysunek 52. Porównanie czasu ukończenia testów realizowanych przez OKB i innych pracowników

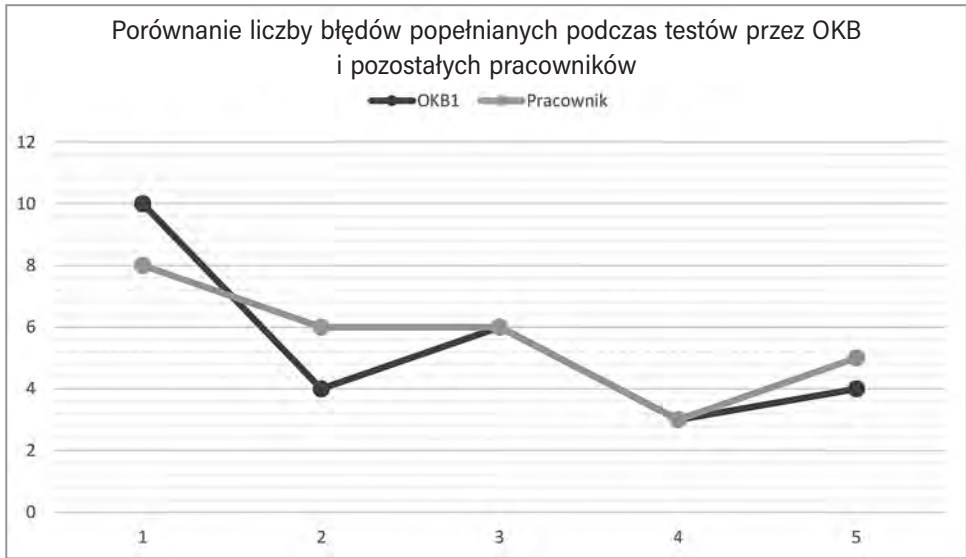


Źródło: opracowanie własne.

Na Rysunku 52 przedstawiono wyniki porównania efektywnego czasu testów wykonanych zarówno przez OKB, jak i innych pracowników. Jak możemy zauważyć, czas wykonania testów przez OKB jest średnio o około 36% krótszy od czasu wykonania tych samych testów przez przypadkowe osoby. Zaznaczyć należy, że wszystkie osoby biorące udział w teście nie miały wcześniej do czynienia z takim samym lub nawet podobnym testem badania predyspozycji psychofizycznych, a dobór ich był zupełnie przypadkowy.

Dlatego podczas badań porównano nie tylko czas realizacji zadań testowych, ale również poziom błędów popełnianych zarówno przez OKB, jak i niezwiązane z tym zawodem osoby. Wyniki badań przedstawiono na Rysunku 53.

Rysunek 53. Porównanie liczby błędów popełnionych podczas testów przez OKB i pozostałych pracowników



Źródło: opracowanie własne.

Jak możemy zaobserwować, tylko w jednym przypadku wyniki testu są korzystniejsze dla pracownika niezwiązanego z kontrolą bezpieczeństwa. W pozostałych przypadkach jednostkowa liczba błędów popełnianych przez OKB jest zdecydowanie mniejsza lub taka sama jak liczba błędów popełnianych przez pozostałych pracowników. Średnia różnica pomiędzy jedną grupą zawodową a drugą w przedmiotowym zakresie wynosi nieco ponad 3% na korzyść OKB. Wykres ten, oprócz prezentacji samych umiejętności OKB w zakresie rozwiązywania nałożonych zadań, pokazuje również wpływ czynników zewnętrznych na jakość wykonywanej pracy oraz ich odporność na stres spowodowany presją czasu i świadomością oceny, jakiej są poddawani. Problematyka ta, niezwykle istotna z punktu ochrony lotnictwa cywilnego, szczegółowo opisana została w pracy (Uchroński, 2019).

Podkreślić również należy, że wykonane badania stanowią punkt wyjścia do dalszych prac mających na celu szersze zdefiniowanie zauważonych zależności. Niemniej jednak już na prezentowanym etapie badań można stwierdzić istnienie pozamerytorycznych czynników determinujących jakość pracy operatorów kontroli bezpieczeństwa.

9. Metoda wspierania planowania kadr służby ochrony lotniska

Wprowadzenie

Jedną z podstawowych czynności decydujących o możliwości odbycia podróży samolotem jest kontrola bezpieczeństwa osób i bagażu. Z uwagi na fakt, że transport lotniczy staje się coraz popularniejszą formą przewozu pasażerów, bardzo ważna jest organizacja pracy personelu obsługującego pasażerów. Aspekt ten jest szczególnie widoczny podczas kontroli bezpieczeństwa, gdzie liczba czynnych punktów kontroli bezpieczeństwa musi być dostosowana do aktualnej sytuacji ruchowej na lotnisku. Właściwe rozplanowanie personelu dedykowanego do kontroli bezpieczeństwa osób i ich bagażu ma istotny wpływ zarówno na skuteczność przeprowadzanej kontroli, przepustowość lotniska, jak i koszty operacji w tym obszarze.

Przeprowadzone badania pozwoliły na zidentyfikowanie kluczowych elementów, mających istotny wpływ na proces kontroli osób i bagażu. Pomiarów czasów kontroli osób i bagażu na poszczególnych etapach kontroli bezpieczeństwa wraz ze szczegółową analizą procesu technologicznego kontroli bezpieczeństwa dostarczyły wiarygodnych danych, które stanowią podstawę do opracowania modelu i narzędzia wspomagającego zarządzających portami lotniczymi w planowaniu zatrudnienia na punktach kontroli bezpieczeństwa (PKB).

W pracy przedstawiono metodę wspomagania osób odpowiedzialnych za planowanie obsady personelu na punktach kontroli bezpieczeństwa. Stworzone narzędzie, w postaci systemu komputerowego, pozwala na planowanie personelu z uwzględnieniem wielu parametrów składających się na proces kontroli bezpieczeństwa. W pracy pokazano również zależności występujące pomiędzy liczbą czynnych punktów kontroli bezpieczeństwa, ich przepustowością oraz skutecznością kontroli bezpieczeństwa. Praca ma również duży wymiar praktyczny. Stworzone narzędzie komputerowe pozwala bowiem na świadome planowanie obsady personelu, z uwzględnieniem wielu zmiennych składających się na proces kontroli bezpieczeństwa.

Po atakach z 11 września bezpieczeństwo na lotniskach na całym świecie uległo znacznym zmianom. Wprowadzono dodatkowe środki bezpieczeństwa, dzięki którym lotnisko stało się miejscem bezpieczniejszym dla pasażerów. Od tego czasu lotnictwo stało się bardzo popularnym środkiem komunikacji, w związku z czym infrastruktura lotniskowa jest proporcjonalnie dostosowywana do bieżących i planowanych potrzeb. Wiąże się to oczywiście z koniecznością wdrażania nowych rozwiązań technicznych, technologicznych i organizacyjnych, co bezpośrednio przekłada się na wzrost kosztów ponoszonych przez zarządzającego lotniskiem. Dla przykładu, atak terrorystyczny z 11 września spowodował, że w 2013 roku Stany Zjednoczone wydały na ochronę lotnisk prawie 8 mld USD, podczas gdy w 2002 roku wydatki te wyniosły 2,2 mld USD.

Obecnie około jedna czwarta kosztów operacyjnych portu lotniczego jest przeznaczana na ochronę. Z tego powodu wszelkie zmiany w technologii kontroli osób i bagażu muszą być oparte na wiarygodnych danych, precyzyjnie określających skutki zastosowania tych zmian w kontekście oczekiwanego rezultatu.

Celem tych działań może być poprawa komfortu pasażerów, przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa, a nawet minimalizacja stresu odczuwanego przez pasażerów podróżujących samolotami. Jest to ważny czynnik związany z obsługą pasażera, spowodowany np. potencjalnie niekorzystnymi doświadczeniami związanymi z podróżą lotniczą, reakcjami na zachowania innych pasażerów, czy też brakiem przekonania, że linia lotnicza/lotnisko zapewni pasażerom oczekiwany komfort i bezpieczeństwo.

W celu rozwiązania tego problemu podejmowane są ciągłe działania mające na celu zapewnienie stałego podnoszenia i unowocześniania efektywności najważniejszego elementu bezpieczeństwa operacji lotniczych – punktu kontroli bezpieczeństwa. Z tego powodu obecne działania koncentrują się głównie na usprawnieniu procesu kontroli bezpieczeństwa, obniżeniu poziomu stresu pasażerów lub zwiększeniu przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa.

Na przykład w porcie lotniczym Amsterdam-Schiphol wdrożono scentralizowany punkt kontroli bezpieczeństwa, który wykorzystuje naturalne światło, rośliny i zakrzywioną konstrukcję, aby stworzyć spokojne i bezstresowe środowisko dla pasażerów. Inne środki są wdrażane w celu zwiększenia przepustowości procesu kontroli bezpieczeństwa. Programy takie jak TSA PreCheck i Schiphol Privium pozwalają osobom często podróżującym na skrócenie, a tym samym przyspieszenie kontroli bezpieczeństwa. TSA PreCheck deklaruje teoretycznie nawet dwukrotne zwiększenie przepustowości, choć nie zostało to potwierdzone w testach empirycznych.

W literaturze istnieje tylko kilka badań, których celem jest empiryczne zrozumienie procesów zachodzących w punktach kontroli bezpieczeństwa na lotniskach.

Jednakże jakościową pracę w tym kierunku wykonał Kirschenbaum, który przeanalizował społeczne aspekty procesów w punktach kontroli bezpieczeństwa na lotniskach. Twierdzi on, że proces kontroli bezpieczeństwa jest przede wszystkim procesem społecznym. Pasażerowie notorycznie negocjują z pracownikami, co wpływa na ogólną wydajność punktu kontroli bezpieczeństwa. Kirschenbaum przedstawia pewne dane ilościowe wyższego rzędu związane z procesem kontroli bezpieczeństwa, ale brakuje mu danych szczegółowych, precyzyjnych, które pozwoliłyby badaczom na znalezienie usprawnień w punkcie kontroli bezpieczeństwa, w tym dostosowanie obsady punktu kontroli do aktualnej liczby pasażerów odprowadzanych z wykorzystaniem wskazanej technologii.

Leone i Liu dostarczyli więcej danych ilościowych dotyczących czasu w procesie kontroli bezpieczeństwa – są to dane związane z czasem przybycia pasażerów, czasem kontroli zdjęć rentgenowskich, rodzajem decyzji (typ czysty lub skażony), czasem obsługi kontroli manualnej oraz czynnościami związanymi z kontrolą przy użyciu urządzenia do badania śladów materiałów wybuchowych (ETD). Nie przedstawiają jednak danych określających, ile czasu zajmuje pasażerom np. odprawa lub odbiór bagażu z przenośnika taśmowego, ani czasu poszczególnych etapów kontroli pasażerów. Ponadto w ich zbiorze danych nie jest uwzględniony rodzaj pasażera. Autorzy podają ogólne liczby opisujące procesy kontroli, bez uwzględnienia poszczególnych etapów kontroli, w tym kontroli osób. W niniejszej pracy analizujemy konkretne czynności, które są wykonywane zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa w stosunku do pasażera. Co więcej, analiza przeprowadzona w kontekście przepustowości i efektywności lotnisk została oparta na różnych technologiach kontroli osób. W tym celu przebadano łącznie ponad 8000 pasażerów, kontrolowanych w Porcie Lotniczym Katowice w Pyrzowicach przy użyciu tradycyjnej bramki do wykrywania metali (WTMD) oraz body skanera – niejonizującego urządzenia do prześwietlania osób. Zestaw danych omówionych w niniejszej pracy jest unikalny w stosunku do ogólnych danych, jakie możemy zaobserwować w literaturze.

Analiza procesu kontroli osób dostarcza nowatorskich informacji, które są istotne dla organizacji w punkcie kontroli bezpieczeństwa, w tym planowania personelu w liczbie niezbędnej do zapewnienia odpowiedniej przepustowości i komfortu podróżującym pasażerom.

9.1. Konfiguracja punktu kontroli bezpieczeństwa

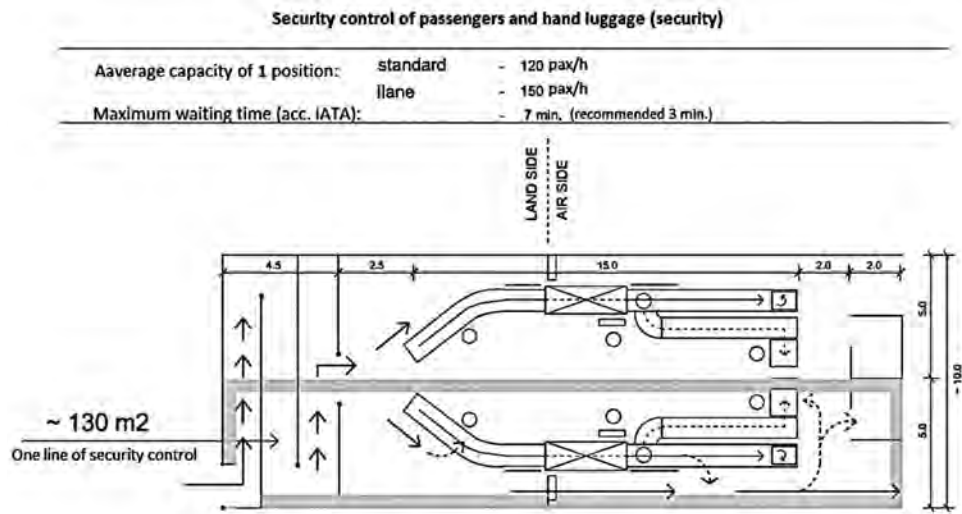
Proces kontroli bezpieczeństwa wymaga od zarządzających lotniskami zaangażowania szeregu środków technicznych i osobowych, niezbędnych do wykonania prawidłowej, czyli zgodnej z regulacjami prawnymi, odprawy pasażerów. W tej części pracy poruszone zostanie zagadnienie związane z niezwykle ważnym

obszarem, jakim jest właściwe planowanie obsady PKB w kontekście aktualnego ruchu pasażerskiego.

Podczas kontroli bezpieczeństwa osoby i bagażu podręcznego OKB musi wykonać szereg czynności, które bezpośrednio wynikają z nakładanych na niego przez ustawodawcę obowiązków. Z tego powodu ważna dla bezpieczeństwa, ale też dla przepustowości PKB jest liczba OKB obsługujących dane przejście. Zgodnie z wymogami prawnymi, standardem jest trzech OKB, którzy realizują swoje zadania. Jeden „kierunkowy” (kieruje potokiem pasażerów), jeden screener (prześwietla i analizuje obraz z bagażu) i jeden OKB dedykowany do kontroli osób przechodzących przez bramkę WTMD (*walk thru metal detector*).

Ta minimalna liczba operatorów nie jest jednak wystarczająca na lotniskach o dużym lub nawet średnim natężeniu ruchu. Zalecana przez standardy IATA (Rysunek 54) liczba OKB na stanowisku wynosi czterech pracowników, co – mając na uwadze kwestie organizacyjne – pozytywnie wpływa na czas kontroli pasażerów w zadanym przedziale czasowym.

Rysunek 54. Rysunek poglądowy punktu kontroli

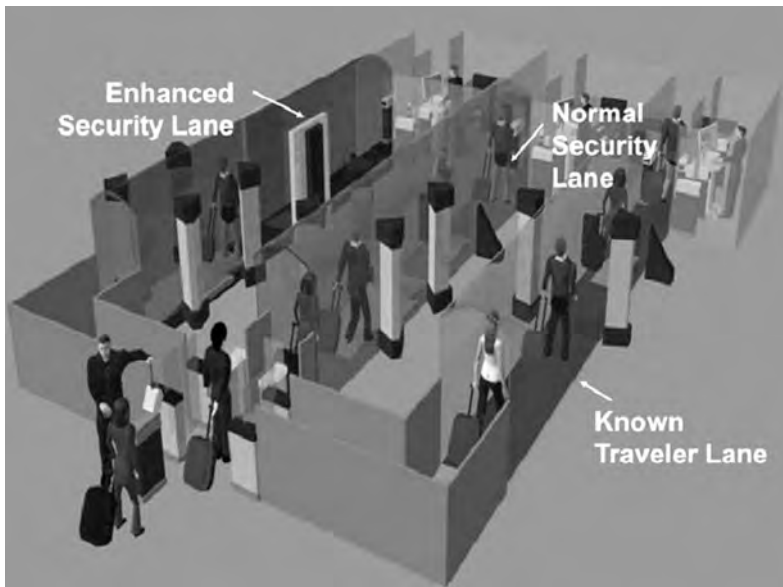


Źródło: IATA.

Jednakże samo stwierdzenie, że określona liczba OKB jest niezbędna do właściwego wykonania obowiązków i zapewnienia określonej przepustowości PKB, jest z punktu widzenia zarządzania ochroną niewystarczające. Z tego też powodu IATA proponuje zupełnie nowatorskie podejście do systemu kontroli pasażera, dzieląc go dodatkowo na trzy grupy: znanego pasażera, standardowego oraz

wymagającego rozszerzonej kontroli bezpieczeństwa. Na Rysunku 55 zaprezentowano w formie graficznej układ takiego PKB.

Rysunek 55. Punkt kontroli bezpieczeństwa w przyszłości



Źródło: IATA.

Niezależnie od wybranej metody kontroli, kwestie organizacji obsady kadrowej w PKB pozostają wciąż aktualne. Oczywiście jest, że celem kontroli bezpieczeństwa jest zapewnienie jej wykonania na odpowiednim poziomie skuteczności, przy konieczności spełnienia dodatkowo jeszcze jednego kryterium, jakim jest przepustowość dostępnej infrastruktury terminalowej. W tej pracy poruszony został nie mniej ważny aspekt z punktu widzenia ciągłości operacyjnej lotniska, jakim jest zapewnienie właściwej obsady uprawnionych do kontrolowania pasażerów operatorów kontroli bezpieczeństwa. Na większości lotnisk ruch pasażerski odbywa się z uwzględnieniem takich determinantów jak sezonowość, charakter ruchu pasażerskiego czy dobowe preferencje godzinowe wykonywanych operacji lotniczych. Dlatego bardzo istotne z ekonomicznego punktu widzenia jest właściwe planowanie obsady pracowników w godzinach rzeczywiście wykonywanych przez nich czynności. Czas ten nazywamy efektywnym wykorzystaniem czasu zatrudnionego pracownika. Obecność pracownika ochrony w pracy, kiedy nie są realizowane czynności kontrolne, niekorzystnie wpływa na bilans ekonomiczny przedsiębiorstwa, a jednocześnie naraża pracodawcę na konieczność zatrudnienia większej liczby osób niż rzeczywiście wymagana.

9.2. Metody planowania obsady w PKB

W praktyce możemy zaobserwować kilka modeli planowania obsady kadrowej wynikających z obowiązujących regulacji prawnych (Kodeks pracy), ale też dostosowanych do aktualnego rozkładu lotów.

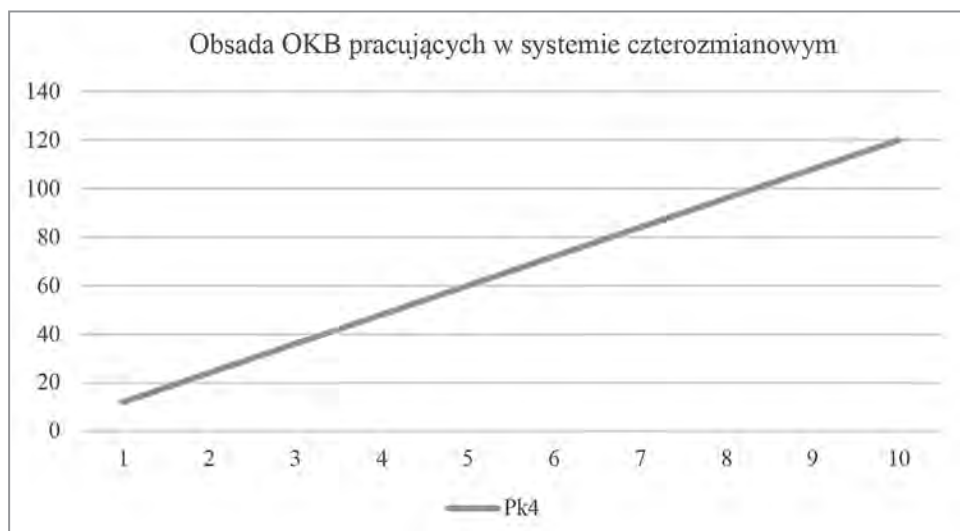
- System równoważny – czterozmianowy, dwunastogodzinny – charakterystyczny dla lotnisk cechujących się równomiernym obłożeniem ruchem pasażerskim w ciągu doby. Wówczas godzinowe obciążenie PKB jest w ciągu doby praktycznie stałe, a ewentualne tzw. piki związane z odprawami pasażerów nie wpływają znacząco na liczebność kadry niezbędnej do wykonania kontroli. Dla dziesięciu PKB, gdzie tylko trzech OKB będzie obsługiwać jeden PKB, zarządzający lotniskiem powinien dysponować w systemie całodobowym 120 osobami uprawnionymi do kontroli.

Możemy tę zależność opisać wzorem:

$$Pk = Lpkb * Lokb * Lz \quad (84)$$

Gdzie Pk (potencjał kadrowy) oznaczać będzie iloczyn $Lpkb$ (liczby punktów kontroli bezpieczeństwa), $Lokb$ (liczby operatorów kontroli w jednym punkcie) i Lz (liczby wymaganych zmian dobowych niezbędnych do zapewnienia całodobowej obsługi). Tak planowana obsada kadrowa prezentować się będzie w sposób przedstawiony na Rysunku 56.

Rysunek 56. Czterozmianowy system planowania



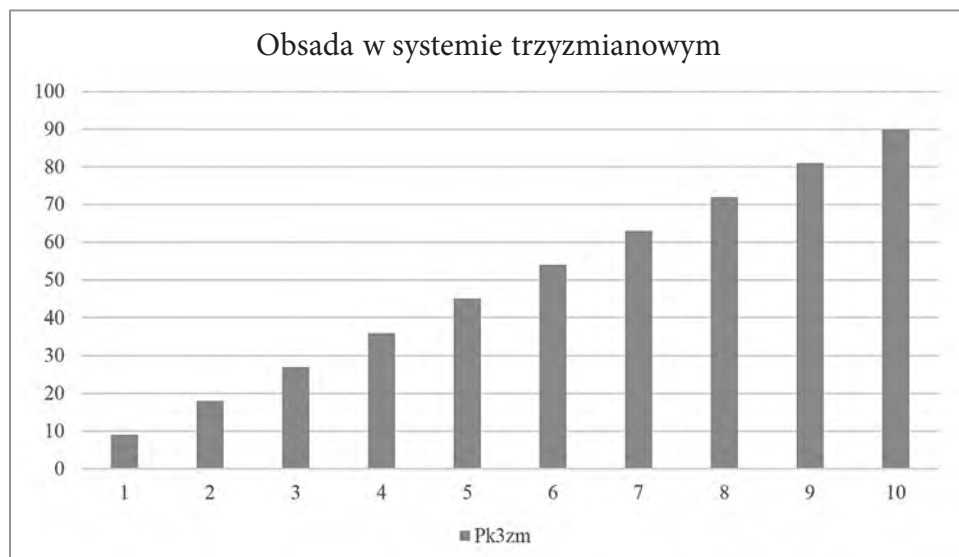
Źródło: opracowanie własne.

Zaznaczyć jednak należy, że w praktyce w takim równoważnym systemie nie stosuje się ścisłego planowania kadrowego uwzględniającego tylko cztery zmiany. Planuje się w takim przypadku nieco więcej, z uwagi na wszelkiego rodzaju uprawnienia pracownika wynikające z Kodeksu pracy, takie jak choćby urlop wypoczynkowy lub możliwość zaistnienia sytuacji trudnych do przewidzenia, a możliwych w trakcie normalnego cyklu pracy; zaliczyć można do nich np. zwolnienia lekarskie, rotacje kadrowe itp. Tego typu okoliczności powodują, że dla zapewnienia ciągłości operacyjnej lotniska konieczne jest ich uwzględnienie w systemie planowania kadrowego przedsiębiorstwa.

- System trzymianowy, ośmiogodzinny – Jest to model planowania charakterystyczny dla lotnisk o ściśle zdefiniowanym w czasie ruchu pasażerskim. System ten stosuje się również jako wsparcie dla kadry pracującej w systemie czterozmianowym, co z kolei ma swoje uzasadnienie ekonomiczne w postaci ograniczenia liczby zatrudnianych w przedsiębiorstwie osób. Osoby pracujące w tym systemie planowane są do pracy w ściśle określonych przedziałach czasowych, wynikających z bieżącego rozkładu lotów i natężenia ruchu pasażerskiego. System trzymianowy ma jednak ograniczenia z uwagi na fakt, iż przyjmując analogiczny mechanizm przyporządkowania liczby osób do PKB (trzech OKB na jeden PKB), pozwala na zapewnienie ciągłości pracy wyłącznie przez pięć dni w tygodniu. Normy czasu pracy i ograniczenia kodeksowe powodują, że nie można w taki sposób planować ciągłości obsady PKB.

Niemniej jednak warto zaznaczyć, że do obsady 10 PKB w systemie trzymianowym konieczne jest zatrudnienie znacznie mniej pracowników. Już 90 osób pozwala na obsadę PKB w systemie całodobowym w przewidzianych normach czasu pracy, ale tylko przez pięć dni w tygodniu. Na Rysunku 57 przedstawiono w formie graficznej proporcjonalny wzrost liczby OKB w zależności od liczby PKB.

Rysunek 57. Nominalna obsada OKB pracujących w systemie trzymianowym



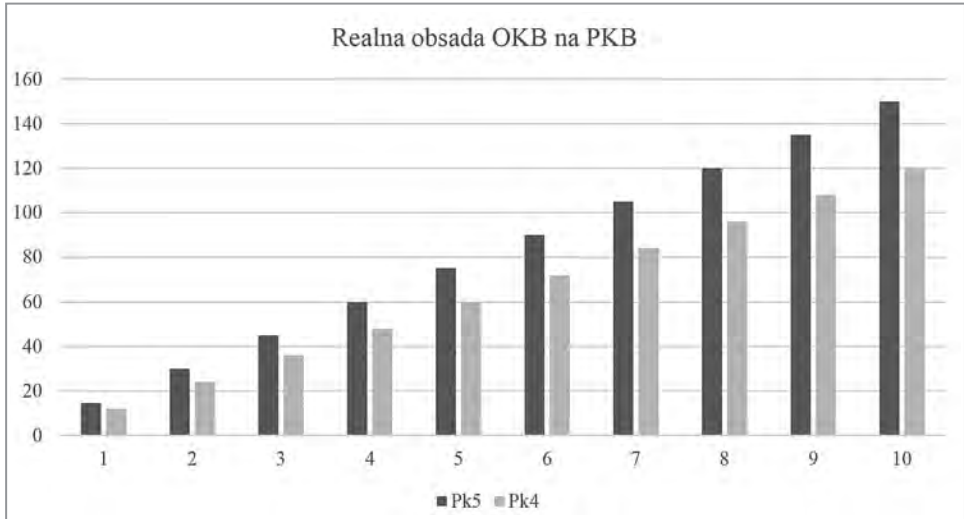
Źródło: opracowanie własne.

9.3. Współczynnik absencji pracowniczej

Na podstawie przeprowadzonych na lotnisku MPL Katowice w Pyrzowicach badań, których celem było ustalenie współczynnika obecności pracowników ochrony pozostających w gotowości do świadczenia pracy na rzecz pracodawcy, ustalono, że dla czterozmianowego równoważnego systemu pracy wynoszącego 12 godzin/zmiana wynosi on 0,25. Badania zostały przeprowadzone w oparciu o roczną analizę absencji pracowników i konsekwencji tej sytuacji dla zdolności operacyjnej lotniska. Przeprowadzone badania pokazały, że na 97 pracowników ochrony ogólnie 24 osoby w systemie ciągłym były nieobecne w pracy, czyli 73 osoby rzeczywiście świadczyły pracę. Pozostałe osoby korzystały z uprawnień, o których mowa była wyżej lub przebywały na zwolnieniu lekarskim. Badania te pokazały, że oprócz wymaganej liczby osób faktycznie wykonujących zadania związane z kontrolą bezpieczeństwa, istnieje konieczność zatrudnienia dodatkowych osób, które będą uzupełniać braki kadrowe na posterunku podczas korzystania przez pracowników z ich kodeksowych uprawnień. Informacja ta jest cenna ze względu na poruszany w tej pracy problem planowania obsady w PKB.

Zmienia się wówczas zależność pomiędzy liczbą PKB koniecznych do obsadzenia przez OKB, a liczbą OKB zatrudnionych przez zarządzającego lotniskiem. Zależność tę przedstawiono na Rysunku 58.

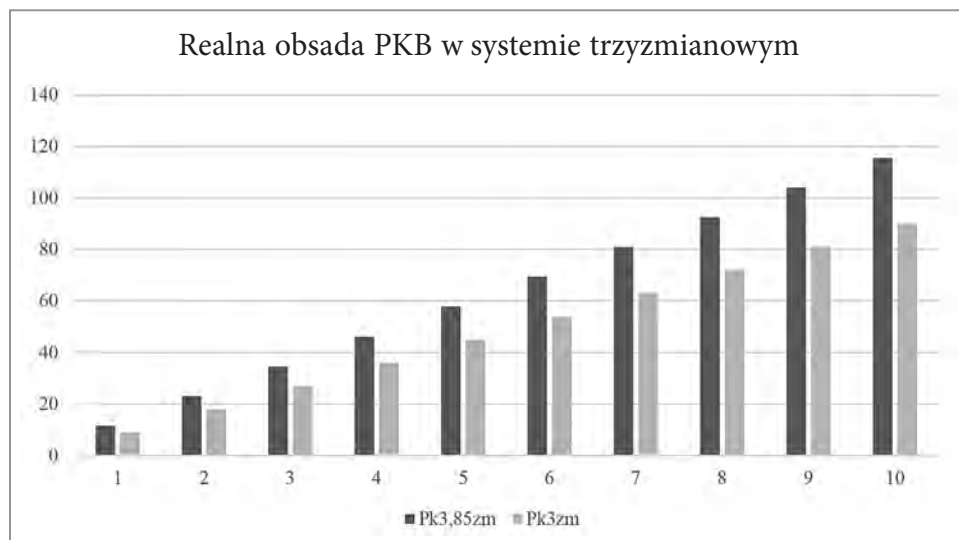
Rysunek 58. Niezbędna liczba OKB pracujących w systemie czterozmianowym



Źródło: opracowanie własne.

Podobnie jak w czterozmianowym systemie pracy, także w systemie trzyzmianowym zauważyć można pewne ograniczenia wydajności nominalnej liczby pracowników ochrony dedykowanych do kontroli bezpieczeństwa pasażerów, spowodowane obowiązującymi regulacjami prawnymi, mającymi z kolei przełożenie na absencję urlopową i chorobową pracowników. Także w tym przypadku zastosowanie znajduje wskazany wyżej wskaźnik 0,25, który należy uwzględnić podczas planowania liczby osób zatrudnionych do obsady konkretnej liczby PKB. Obliczając według zaproponowanego wyżej wzoru rzeczywistą liczbę OKB koniecznych do zapewnienia ciągłości obsady PKB, i uwzględniając wskaźnik absencji pracowników, otrzymujemy potencjał kadrowy na poziomie 112,5 (113) OKB. Reprezentację graficzną omawianych zależności przedstawiono na Rysunku 59.

Rysunek 59. Niezbędna liczba OKB pracujących w systemie trzymianowym



Źródło: opracowanie własne.

9.4. Przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa

Przytoczone wyżej wyniki badań, aby mogły być zastosowane w praktyce, muszą znaleźć odniesienie do wielkości ruchu pasażerskiego, ale również do liczby pasażerów, jaka może zostać skontrolowana w jednym PKB. W tym celu w MPL Katowice przeprowadzono pomiary kontroli osób i bagażu z uwzględnieniem dwóch technologii kontroli pasażerów: bramki do wykrywania metali i tzw. body skanera – niejonizującego urządzenia do prześwietlenia osób. Technologia kontroli z wykorzystaniem tych metod jest diametralnie odmienna i wymaga zaangażowania zarówno po stronie OKB, jak i po stronie pasażera dodatkowych działań, które istotnie wpływają na przepustowość PKB, a tym samym na możliwości operacyjne lotniska.

9.4.1. Przepustowość w punkcie kontroli bezpieczeństwa wyposażonym w WTMD

Jednym z najpopularniejszych rozwiązań stosowanych na lotniskach jest kontrola bezpieczeństwa z wykorzystaniem bramowego wykrywacza metali bramki WTMD. Krajowe i unijne (2015/1998) regulacje prawne w sposób bardzo szczegółowy określają parametry tych urządzeń oraz wprowadzają odmiennie standardy kontroli dla personelu i odmiennie dla kontroli pasażerów. Niemniej jednak, mimo pewnych różnic wynikających z charakteru i specyfiki osób poddawanych

kontroli, zasada działania bramek jest bardzo zbliżona. W obu przypadkach mamy do czynienia z urządzeniami, które jednoznacznie przeznaczone są do wykrywania metalowych przedmiotów ukrytych na ciele pasażera lub personelu.

Ważnym celem kontroli osób za pomocą WTMD jest detekcja przedmiotów metalowych przenoszonych przez pasażerów. To podstawowa forma kontroli, która dodatkowo wspomagana jest kontrolą manualną, wykonywaną z określoną niejawnymi przepisami częstotliwością. Kontrola manualna wykonywana jest z kolei w celu wykrycia na ciele człowieka ukrytych przedmiotów innych niż metalowe, które mogą zostać wykorzystane do popełnienia aktu bezprawnej ingerencji. Oprócz norm, jakie na dedykowany do kontroli sprzęt nakłada ustawodawca, istotne też tutaj będą rozwiązania techniczne, takie jak choćby liczba obszarów detekcji czy możliwość indywidualnego programowania stref detekcji. Rozwiązania te mają wpływ nie tylko na bezpieczeństwo i skuteczność wykonywanej kontroli, ale również na jej przepustowość. W celu oszacowania realnej przepustowości w punkcie kontroli bezpieczeństwa osób, konieczne było wykonanie specjalistycznych pomiarów. Zrealizowane one zostały w czasie rzeczywistym w punkcie kontroli bezpieczeństwa.

Wykonanie wyżej wymienionych pomiarów, mimo deklarowanej przez producentów bramek przepustowości, było niezbędne z uwagi na fakt, iż konfiguracja punktu kontroli bezpieczeństwa, dostępna przestrzeń, rodzaj, ilość sprzętu wykorzystywanego do kontroli bezpieczeństwa itp. mają istotny wpływ na czas obsługi pasażerów. Te zależności sprawiają, że deklarowana przez producentów bramek przepustowość zdecydowanie różni się od rzeczywistej.

Badania wykonano na próbie 200 pasażerów. Podczas kontroli dokonano pomiaru czasu, a wyniki w formie poglądowej przedstawione są w Tabeli 68.

Tabela 68. Przykładowe dane z wykonanych pomiarów

Pomiary przepustowości dla WTMD									
Nr	Alarm		Kontrola manualna		Ponowne przejście przez WTMD		Czas kontroli [s]	Godzina	Data
	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak	Nie			
1	0	1	0	1	0	1	4	11:17	31.07.2019
2	0	1	0	1	0	1	3	11:17	31.07.2019
3	1	0	1	0	0	1	12	11:17	31.07.2019
4	1	0	1	0	0	1	24	11:22	31.07.2019
5	1	0	0	1	1	0	27	11:25	31.07.2019

Pomiary przepustowości dla WTMD									
Nr	Alarm		Kontrola manualna		Ponowne przejście przez WTMD		Czas kontroli [s]	Godzina	Data
	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak	Nie			
6	1	0	1	0	0	1	22	11:26	31.07.2019
7	0	1	0	1	0	1	3	11:27	31.07.2019
8	0	1	0	1	0	1	3	11:27	31.07.2019
9	0	1	0	1	0	1	2	11:27	31.07.2019
10	0	1	0	1	0	1	3	11:28	31.07.2019

Źródło: opracowanie własne.

Z badań wynika, że średni czas kontroli bezpieczeństwa osób kontrolowanych z wykorzystaniem WTMD i wzbudzających alarm WTMD wynosił około 23 sekund, natomiast czas kontroli osób niewzbudzających działania urządzenia wynosił niespełna 4 sekundy. Jednocześnie warto zauważyć, że stosunek częstotliwości wykonywanych kontroli pasażerów, którzy nie wzbudzili alarmu bramki, do częstotliwości kontroli pasażerów, którzy uruchomili alarm bramki, wynosi odpowiednio 70% i 30%.

9.4.2. Przepustowość w punkcie kontroli bezpieczeństwa wyposażonym w body skaner

Innym narzędziem przeznaczonym do kontroli bezpieczeństwa osób jest tak zwany body skaner. Technologia kontroli za pomocą tego urządzenia jest diametralnie odmienna od zasady działania bramki do wykrywania metali. Body skaner, wykorzystując promieniowanie niejonizujące, pozwala na wykrywanie wszystkich, nie tylko metalowych przedmiotów przenoszonych przez pasażera na ciele. Z tego powodu sposób wykonywania kontroli jest również odmienny. Nie mamy tutaj bowiem do czynienia z kontrolą manualną, do jakiej jesteśmy przyzwyczajeni, stosując WTMD, ale kontrola ta może być realizowana w stosunku do całego ciała pasażera (pełna kontrola manualna), albo może to być kontrola kierunkowa tylko tych obszarów, co do których zachodzi podejrzenie, że został tam ukryty przedmiot mogący stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczej. Body skaner, analizując powierzchnię ciała człowieka, samodzielnie, bez udziału operatora kontroli bezpieczeństwa, wskazuje precyzyjnie miejsca ukrycia potencjalnie niebezpiecznych narzędzi. Operator kontroli natomiast ma obowiązek skontrolować manualnie te wskazane miejsca. Jeżeli liczba wskazanych alarmów będzie większa, operator może zdecydować o dokonaniu pełnej kontroli manualnej całej powierzchni ciała pasażera.

Analogicznie jak w przypadku WTMD, producenci body skanerów deklarują określoną przepustowość urządzeń w danym środowisku pracy. Dla testowanego urządzenia deklarowana przepustowość wynosiła aż 1200 pasażerów na godzinę. Aby ocenić przydatność takiego urządzenia w realnych warunkach pracy i przy istniejącej infrastrukturze, na lotnisku Katowice przeprowadzono testy jednego z oferowanych przez producentów urządzeń tego typu. Wykonano testy z udziałem 200 pasażerów, którzy zostali poddani kontroli za pomocą body skanera. Przykładowy wynik wykonanych testów zaprezentowano w Tabeli 69.

Tabela 69. Przykładowe dane z wykonanych pomiarów przepustowości

Pomiary przepustowości dla body skanera									
Lp.	Alarm		Kontrola manualna		Ponowne przejście przez BS		Czas kontroli [s]	Godzina	Data
	Tak	Nie	Kompletna	Kierunkowa	Tak	Nie			
1	0	1	0	0	0	1	11	11:12	16.07.2019
2	1	0	1	0	0	1	29	11:14	16.07.2019
3	0	1	0	0	0	1	13	11:16	16.07.2019
4	0	1	0	0	0	1	14	11:17	16.07.2019
5	1	0	0	1	0	1	45	11:17	16.07.2019
6	0	1	0	0	0	1	10	11:18	16.07.2019
7	0	1	0	0	0	1	9	11:19	16.07.2019
8	0	1	0	0	0	1	16	11:22	16.07.2019
9	0	1	0	0	0	1	14	11:31	16.07.2019
10	1	0	0	1	0	1	25	11:43	16.07.2019

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki dowodzą, że deklarowana przez producenta body skanera przepustowość na poziomie 1200 pasażerów na godzinę jest być może możliwa do uzyskania w ściśle sparametryzowanym środowisku. W punkcie kontroli bezpieczeństwa, gdzie testowano urządzenie, osiągnięto średni czas kontroli pasażera, który nie wzbudził alarmu urządzenia, na poziomie 9 sekund, natomiast pasażer, który z uwagi na liczbę alarmów wygenerowanych przez urządzenie musiał zostać poddany pełnej, kompleksowej kontroli manualnej, średnio kontrolowany był około 37 sekund, a tzw. kierunkowa kontrola – tylko tych miejsc, które zostały wskazane przez BS – trwała średnio około 21 sekund. Nie bez znaczenia dla określenia przepustowości urządzenia jest również częstotliwość występowania poszczególnych zdarzeń i wynosi ona odpowiednio 64%, 6% i 30%.

9.4.3. Czas kontroli bagażu podręcznego

Kolejnym, równie istotnym elementem, zasadniczo wpływającym na czas kontroli i przepustowość PKB, jest czas kontroli bagażu podręcznego. Jest to czynność bezpośrednio powiązana z kontrolą osób i od jej prawidłowego wykonania w równym stopniu zależy bezpieczeństwo realizowanych operacji lotniczych. Łączny czas wykonanej kontroli pasażera i bagażu podręcznego stanowić będzie o realnej przepustowości PKB. W tym też celu w MPL Katowice równolegle do pomiarów czasu kontroli osób, dokonano pomiarów czasu kontroli bagażu podręcznego. Przykładowe wyniki przeprowadzonych badań zaprezentowano w Tabeli 70.

Tabela 70. Pomiary czasu kontroli bagażu podręcznego

Lp.	Kontrola manualna		Czas kontroli [s]	Godzina	Data
	Tak	Nie			
1	0	1	10	10:17	31.07.2019
2	0	1	12	11:10	31.07.2019
3	1	0	40	11:17	31.07.2019
4	1	0	55	11:22	31.07.2019
5	0	1	10	11:25	31.07.2019
6	1	0	12	11:30	31.07.2019
7	0	1	30	12:27	31.07.2019
8	0	1	20	12:35	31.07.2019
9	0	1	15	12:40	31.07.2019
10	0	1	8	13:28	31.07.2019

Źródło: opracowanie własne.

Jak możemy zaobserwować w Tabeli 70, czas kontroli bagażu znacznie się wydłuża w przypadku konieczności dokonania przez OKB kontroli manualnej bagażu podręcznego. Kontrola ta wykonywana jest najczęściej w przypadku wykrycia podczas prześwietlania bagażu podejrzanego przedmiotu, który może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczej. Jednocześnie, na podstawie wykonanych pomiarów czasów kontroli bezpieczeństwa bagażu podręcznego, określona została częstość realizowanej przez OKB kontroli manualnej bagażu. Dla badanego obszaru kształtuje się ona na poziomie 30% pasażerów posiadających bagaż zawierający przedmiot zabroniony.

9.5. Analiza i praktyczne zastosowanie wyników badań

Określenie metody planowania zatrudnienia operatorów kontroli bezpieczeństwa oraz badania przepustowości pojedynczego punktu kontroli uwzględniającej różnorodne technologie kontroli pasażerów posłużyły do stworzenia praktycznego narzędzia, wspomagającego osoby odpowiedzialne za planowanie obsady na PKB, które w sposób precyzyjny i intuicyjny pozwala na utrzymanie ciągłości operacyjnej lotniska. Co więcej, narzędzie to uwzględnia również godzinowe zmiany w natężeniu ruchu pasażerskiego.

Badania dotyczące czasu kontroli osób wykonane przy pomocy zarówno tradycyjnych bramek do wykrywania metali, jak i nowej technologii bramek niejonizujących, określanych mianem body skaner, pozwoliły na opracowanie modelu matematycznego wspomagającego zarządzających lotniskami i osoby decyzyjne w obszarze bezpieczeństwa w procesie świadomego planowania liczby punktów kontroli bezpieczeństwa niezbędnych do wykonania kontroli w zadanym przedziale czasowym. Model ten można dostosować zarówno do kontroli bezpieczeństwa wykonywanej z wykorzystaniem WTMD, jak i body skanera.

9.5.1. Metoda wspomaganie obsady punktu kontroli wyposażonego w WTMD

Istotnym elementem składowym kontroli za pomocą WTMD będą następujące zmienne niezbędne do opracowania narzędzia wspomagającego:

- T_{km} – czas kontroli manualnej,
- T_{sK} – czas kontroli standardowej,
- M_{kp} – częstotliwość kontroli manualnej pasażerów,
- S_{kp} – częstotliwość kontroli standardowej pasażerów.

Zaznaczyć również należy, że kontrolą standardową nazywamy sytuację, kiedy pasażer przechodzący przez bramkę nie wzbudził jej alarmu.

Przeprowadzone badania pozwoliły na sparametryzowanie wyżej wymienionych wartości.

W związku z powyższym możliwe było opracowanie narzędzia, za pomocą którego możemy otrzymać bieżącą i spodziewaną przepustowość w jednym punkcie kontroli bezpieczeństwa w godzinowym przedziale czasowym:

$$P = \frac{3600}{T_{sK}} * S_{kp} + \frac{3600}{T_{km}} * M_{kp} \quad (85)$$

Bardzo ważną kwestią jest tutaj również możliwość bieżącego dostosowania parametrów do aktualnych potrzeb, wynikających z reorganizacji w punkcie kontroli bezpieczeństwa ruchu czy chociażby pór roku, istotnie wpływających na czas

kontroli osób. Dysponując wiedzą w zakresie rzeczywistej przepustowości PKB, możemy z kolei zaplanować odpowiednią liczbę PKB, dostosowaną do wymagań operacyjnych lotniska. Wiedza ta również jest niezbędna, by zaplanować potencjał kadrowy konieczny do realizacji nałożonych przez ustawodawcę zadań dotyczących ochrony lotnictwa cywilnego.

Jednakże przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa pasażerów bardzo ściśle powiązana jest z przepustowością punktu kontroli bezpieczeństwa bagażu podręcznego, który towarzyszy pasażerowi. Proces kontroli bagażu podręcznego jest bardziej czasochłonny w porównaniu do kontroli bezpieczeństwa pasażerów. Analizując czas kontroli bagażu podręcznego, możemy postawić tezę, że czas jego kontroli będzie determinował przepustowość całego punktu kontroli bezpieczeństwa. W procesie kontroli bagażu podręcznego, podobnie jak w przypadku kontroli pasażerów, wyróżniamy kontrolę standardową bagażu i kontrolę manualną bagażu, która realizowana jest w przypadku stwierdzenia przez OKB obecności w nim przedmiotu zabronionego. Dokonane pomiary pozwoliły na oszacowanie przepustowości punktu kontroli bagażu podręcznego. Dysponując czasem kontroli manualnej bagażu (T_{km}) i czasem standardowej kontroli bagażu, który nie zawiera przedmiotów zabronionych (T_{kbs}), a także wiedzą na temat częstotliwości występowania poszczególnych rodzajów kontroli (CT_{km} i CT_{kbs}), jesteśmy w stanie oszacować godzinową przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa bagażu (P_{pkbb}). Wyrazić ją można w sposób następujący:

$$P_{pkbb} = \frac{3600}{T_{km}} * CT_{km} + \frac{3600}{T_{kbs}} * CT_{kbs} \quad (86)$$

Następnie, posiadając dane dotyczące możliwej przepustowości PKB, możemy – stosując poniższe równanie – wyliczyć liczbę linii kontroli niezbędnych do obsłużenia określonej liczby pasażerów w zadanym przedziale czasowym:

$$L_b = \frac{L_{pax}}{P_h} / H \quad (87)$$

gdzie:

L_b – liczba bramek,

L_{pax} – liczba pasażerów,

P_h – przepustowość godzinowa,

H – liczba godzin kontroli.

Otrzymujemy wynik w postaci liczby koniecznych do otwarcia PKB w zadanym przedziale czasowym.

9.5.2. Metoda wspomaganie obsady punktu kontroli bezpieczeństwa wyposażonego w body skaner

Analogicznie jak w przypadku WTMD, kontrola za pomocą body skanera również cechuje się zmiennymi, które determinują czas wykonania kontroli. Do tych zmiennych zaliczamy:

- $T(ba)$ – czas kontroli przy braku alarmu BS,
- $T(pk)$ – czas wykonania pełnej kontroli BS,
- $T(kk)$ – czas kierunkowej kontroli BS,
- $C(ba)$ – częstotliwość występowania kontroli bez alarmu BS,
- $C(pk)$ – częstotliwość występowania pełnej kontroli,
- $C(kk)$ – częstotliwość występowania kierunkowej kontroli.

Sparametryzowanie wyżej wymienionych zmiennych pozwala na odczytanie godzinowej przepustowości body skanera (Pbs). Wzór na wyliczenie tej niewiadomej przedstawiać się będzie następująco:

$$Pbs = \frac{3600}{T(ba)} * C(ba) + \frac{3600}{T(pk)} * C(pk) + \frac{3600}{T(kk)} * C(kk) \quad (88)$$

Podobnie jak przedstawione wyżej, narzędzie to stanowić może pomoc w świadomym planowaniu obsady punktów kontroli bezpieczeństwa.

9.6. Eksperycka ocena narzędzia do wspomaganie i planowania obsady w PKB

Jak wspomniano wyżej, zbudowane narzędzie posiada wymiar praktyczny, więc konieczne było jego zweryfikowanie w zakresie przydatności w procesie planowania obsady PKB. Zaznaczyć tutaj należy, że istotą realizowanej kontroli bezpieczeństwa jest zapewnienie maksymalnej skuteczności wykrycia potencjalnych przedmiotów zabronionych. Ten fakt sprawia, że przeprowadzone badania nabierają dodatkowo społecznego znaczenia i mogą istotnie wpłynąć na poczucie bezpieczeństwa odprawianych pasażerów.

Niestety, nie jesteśmy w stanie zmierzyć z całą pewnością, ile przedmiotów zabronionych zostało przeniesionych na pokład samolotu przez kontrolowane osoby pomimo zastosowania wobec nich kontroli zgodnie z przepisami prawa. Gdyby była taka możliwość, OKB niezwłocznie podjąłby działania w celu usunięcia zagrożenia. Z tego też powodu mamy tutaj do czynienia z informacją o dużym stopniu niepewności i bardzo nieprecyzyjną. Z uwagi na to do oceny przydatności proponowanych narzędzi, w kontekście skuteczności wykonywanej kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu, została wykorzystana w badaniach teoria zbiorów rozmytych wraz z jej rozszerzeniem metodą wnioskowania rozmytego. W badaniach

tych wzięli udział eksperci – operatorzy kontroli bezpieczeństwa posiadający wieloletnie doświadczenie w pracy w punkcie kontroli bezpieczeństwa portu lotniczego, ale też osoby ze średniego szczebla zarządzania odpowiedzialne za właściwe planowanie niezbędnej kadry do wykonania kontroli bezpieczeństwa. Eksperti mieli za zadanie, opierając się na swojej wiedzy i doświadczeniu w pracy, ocenić przydatność stworzonych narzędzi i porównać z wynikami, jakie osiągają oni, stosując w bieżącej pracy dotychczasowe metody planowania, oparte w głównej mierze na własnym doświadczeniu. Ocena została dokonana przez ekspertów w skali 1–5. Wyniki tej oceny zaprezentowane zostały w Tabeli 71.

Tabela 71. Eksperska ocena przydatności narzędzia w procesie planowania kadrowego

Ekspert	Ocena przydatności narzędzi na skuteczność wykonywanych przez OKB zadań
Ekspert 1	5
Ekspert 2	4
Ekspert 3	5
Ekspert 4	5
Ekspert 5	4
Ekspert 6	4
Ekspert 7	4
Ekspert 8	5
Ekspert 9	5
Ekspert 10	5
średnia	4,6

Źródło: opracowanie własne.

Jak możemy zauważyć, operatorzy zdecydowanie powyżej średniej ocenili wpływ zastosowania proponowanych metod usprawnienia planowania kadrowego na skuteczność wykonywanych przez nich zadań. Świadczy to o poprawnym podejściu do poruszanej w pracy problematyki właściwego planowania odpowiedniej liczby obsady kadrowej.

10. Podsumowanie i wnioski

Modelowanie procesów oceny bezpieczeństwa i przepustowości na lotniskach cywilnych jest obszarem działań niezwykle istotnym z punktu widzenia zachowania ciągłości funkcjonowania lotniska. Rosnąca popularność lotniczej gałęzi komunikacji sprawia, że coraz bardziej zauważalny jest problem zapewnienia wymaganej przepustowości lotniska w kontekście kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu i jej skuteczności. Niniejsza praca wskazuje na te obszary determinujące możliwości operacyjne lotniska i dodatkowo proponuje konkretne rozwiązania, pozwalające na planowanie z odpowiednim wyprzedzeniem działań o charakterze inwestycyjnym lub organizacyjnym, dostosowanych do potrzeb operacyjnych lotniska. Znaczenie poruszanego tematu potęguje fakt, iż w modelowaniu procesów związanych z bezpieczeństwem i przepustowością na lotniskach łącznie uwzględnić należy elementy o charakterze technicznym, organizacyjnym, kadrowym czy też wynikające z czynnika ludzkiego, charakteryzujące się znacznym stopniem złożoności. W pracy przedstawiono rozwiązania, które uwzględniają różne modele mogące mieć praktyczne zastosowanie podczas planowania operacyjnego na lotnisku. Wyniki tych badań oraz wnioski i konsekwencje praktyczne dla lotniska przedstawione są w niniejszym rozdziale.

10.1. Przepustowość kontroli bezpieczeństwa w kontekście zastosowania nowych technologii

W celu określenia konsekwencji zastosowania nowych technologii w procesie kontroli bezpieczeństwa pasażerów przeprowadzono porównanie tradycyjnych bramek WTMD oraz nowszej (ale też bardziej kosztownej) technologii body skanerów w zakresie wpływu na przepustowość w punkcie kontroli bezpieczeństwa oraz jego skuteczność. W tym celu opracowano odpowiednie modele symulacyjne, które pozwoliły na wysnucie następujących wniosków:

- odpowiedź w zakresie wyboru technologii kontroli bezpieczeństwa pasażerów jest uzależniona od spersonalizowanych wymagań operacyjnych lotniska,
- dla lotniska o charakterystyce podobnej do analizowanego KTW, wykorzystanie bramek WTMD wydaje się korzystniejsze w warunkach nominalnych oraz po zwiększeniu obsady PKB w taki sposób, aby pracowały na nim osoby obu płci jednocześnie,

- w przypadku zwiększonego zagrożenia terrorystycznego oraz zagrożenia epidemicznego korzystniejsze jest wykorzystywanie stanowisk wyposażonych w body skaner,
- w odniesieniu do charakteru ubioru pasażerów, związanego z porami roku, najkorzystniejsze z operacyjnego punktu widzenia jest kierowanie większego strumienia pasażerów latem do stanowisk wyposażonych w WTMD, zaś zimą – do stanowisk wyposażonych w body skaner,
- oczywiście na ostateczną decyzję o zakresie stosowania obu typów urządzeń wpływ mają także dostępne środki finansowe, możliwości infrastrukturalne, a także obecna oraz prognozowana wielkość ruchu lotniczego,
- proponowane narzędzia, które dają wyniki ilościowe, mogą pozytywnie wpłynąć na proces decyzyjny osób odpowiedzialnych za zarządzanie bezpieczeństwem na lotniskach.

10.2. Modernizacja systemu kontroli bagażu rejestrowanego

W zarządzaniu systemami kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym, a szczególnie podczas podejmowania decyzji modernizacyjnych, często mamy do czynienia z sytuacją wyboru wielokryterialnego spośród kilku rozważanych wariantów działania. Podczas przeprowadzonych w tym zakresie badań rozważano przypadek, kiedy przy ocenie wariantów mamy do czynienia zarówno z kryteriami obiektywnymi (wyrażanymi wielkościami liczbowymi), jak i subiektywnymi (wyrażanymi opisowo za pomocą pojęć nieprecyzyjnych). Co więcej, musimy rozważyć różne punkty widzenia, co jest równoważne z podejmowaniem decyzji przez grupę decydentów. Każdy z nich może mieć inną hierarchię ważności kryteriów i inaczej oceniać poszczególne warianty w odniesieniu do kryteriów subiektywnych.

Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne z wykorzystaniem stworzonego narzędzia komputerowego pozwoliły wykazać następujący wpływ kontekstu podejmowania decyzji na uzyskiwaną relację preferencji grupowej:

- W przypadku przewidywanych zmian w przepisach, polegających na konieczności częstszego szkolenia operatorów kontroli bezpieczeństwa, zwiększa się stopień preferencji dla wariantów wymagających mniejszej liczby operatorów. Jest to wynik ciekawy o tyle, że częstsze szkolenia personelu wpływają pozytywnie na skuteczność kontroli, a także jej przepustowość.
- W przypadku, gdy mamy do czynienia z wysokimi ocenami operatorów kontroli bezpieczeństwa, przyrost skuteczności jest niewielki i koszty związane ze szkoleniami przeważają, powodując niższe oceny dla wariantów wymagających dużej liczby operatorów.

- Powiązanie standardowych planów modernizacyjnych z koniecznością poniesienia niespodziewanych kosztów wymiany sprzętu rentgenowskiego (na przykład wskutek jego awarii) powoduje, że preferowany grupowo wariant ulega zmianie.
- Użyta metoda pozwala ocenić siłę preferencji zarówno dla wariantu sprzętowego, jak i wszystkich pozostałych.
- W przypadku zagrożenia terrorystycznego eksperci dokonują zmiany swoich ocen co do ważności poszczególnych kryteriów. Warto zauważyć, że zmiany te są szersze, niż tylko spodziewane podniesienie ważności kryterium skuteczności kontroli.
- Nagła zmiana wielkości obsługiwanego ruchu, która może mieć przyczyny o różnym charakterze, może skłonić decydentów do wyboru innego wariantu niż w scenariuszu referencyjnym.
- Zmiana postaci relacji preferencji grupowej dla rozważanych wariantów w zależności od kontekstu sytuacji decyzyjnej wskazuje wyraźnie, że kontekst ten musi być bezwzględnie uwzględniany w procesie podejmowania decyzji.

Należy mieć na uwadze, że prezentowane wyniki eksperymentów są zależne od konkretnej sytuacji na badanym lotnisku. W przypadku lotniska KTW najważniejsze dla uzyskanych wniosków były:

- wysoka ocena jakości pracy operatorów kontroli bezpieczeństwa oraz
- warunki lokalowe, utrudniające wdrożenie wariantów modernizacji wiążących się z koniecznością zwiększenia powierzchni zajmowanej przez system kontroli bagażu rejestrowanego.

W przypadku innych portów lotniczych sytuacja może być odmienna. Jednak proponowana metoda i sposób podejścia oparty na wykorzystaniu logiki rozmytej do wielokryterialnej grupowej oceny wariantów w warunkach niepewności mogą być stosowane także w tych przypadkach. Niemniej jednak zaproponowana metoda pozwala nie tylko wskazać wariant preferowany w każdym z tych scenariuszy. Pozwala także określić liczbowo siłę preferencji dla poszczególnych wariantów, co może ułatwić podjęcie właściwej decyzji, uwzględniającej subiektywną ocenę szans na realizację poszczególnych scenariuszy.

10.3. Wybór wariantu organizacji kontroli bagażu rejestrowanego

W pracy przedstawiono również rozmyte modele i implementujący je system komputerowy RBES, opracowane do oceny skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym. Istotną nowością prezentowanego podejścia jest łączne uwzględnienie czynników ludzkiego i technicznego.

Przeprowadzone badania eksperymentalne z wykorzystaniem opracowanych modeli pozwalają zauważyć bardzo istotny wpływ wariantu organizacji procesu kontroli na bezpieczeństwo. Wykazano, że najkorzystniejszy spośród wariantów możliwych do praktycznego wykorzystania jest wariant, w którym uzyskuje się ocenę skuteczności wykrywania przedmiotów zabronionych na poziomie *wysoka*, a jednocześnie przepustowość jest stosunkowo duża, dzięki stosowaniu zarówno kontroli automatycznej, jak i wspomaganej przez prześwietlarki kontroli wykonywanej przez OKB.

Daje się także zauważyć bardzo duże znaczenie doboru pracowników do wykonywania zadań. Dzięki zastosowanemu podejściu rozmytemu można uzyskać oceny ilościowe, które mogą pomóc służbom lotniskowym np. we właściwym planowaniu pracy OKB.

10.4. Kontrola bezpieczeństwa bagażu kabinowego

W pracy przedstawiono również modele wnioskowania rozmytego i implementujący je system komputerowy COBAFAS, opracowane do oceny skuteczności kontroli bagażu podręcznego w porcie lotniczym.

Przeprowadzone badania eksperymentalne z wykorzystaniem opracowanych modeli pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Istnieje duże zróżnicowanie ocen poszczególnych punktów kontroli bezpieczeństwa
- Istnieje wiele możliwości poprawy sytuacji w PKB o niskiej ocenie. Od kosztownych, polegających na zastosowaniu bardziej nowoczesnego sprzętu, poprzez szkolenia, do działań o charakterze organizacyjnym.
- Istnieje realna możliwość oddziaływania na skuteczność prowadzonej kontroli poprzez wprowadzenie tzw. stanu podwyższonego zagrożenia aktem bezprawnej ingerencji.
- Ocena ilościowa pozwala na indywidualne traktowanie poszczególnych PKB.
- Kluczowy dla wykonywanych na lotnisku zadań jest dobór pracowników.

Przeprowadzone badania pokazały ponadto, że można uzyskać maksymalne możliwe standardy ochrony, nie doprowadzając jednocześnie do paraliżu lotniska i drastycznego spadku komfortu podróżowania. Stanowi to cenną informację dla podmiotów odpowiedzialnych za zarządzających infrastrukturą lotniska.

Daje się także zauważyć bardzo duże znaczenie doboru pracowników do wykonywania zadań. Dzięki zastosowanemu podejściu rozmytemu można uzyskać oceny ilościowe, które mogą pomóc służbom lotniskowym np. we właściwym planowaniu pracy OKB.

10.5. Wpływ czynnika ludzkiego na system ochrony lotnictwa cywilnego

Nie bez znaczenia na wynik przeprowadzonych badań ma fakt, iż predyspozycje psychofizyczne pracowników wykonujących zadania związane z ochroną lotnictwa cywilnego są kluczowe dla zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa oraz przepustowości portu lotniczego. Wyniki testów pokazały jednoznacznie, że przy praktycznie takiej samej liczbie błędów popełnianych przez obie grupy zawodowe, OKB są w stanie pracować aż o ponad jedną trzecią szybciej i wydajniej w porównaniu do innych grup zawodowych, co do których nie ma wymogu dokonywania szczegółowej weryfikacji ich predyspozycji. Oczywiście nie jest to reguła, ponieważ również wśród takich osób z pewnością znajdują się osoby odpowiadające profilowi zgodnemu z właściwym dla kwalifikowanego pracownika ochrony, jednak z punktu widzenia ochrony lotniska i jego przepustowości konieczne jest, aby tylko takim pracownikom powierzać obowiązki operatora kontroli bezpieczeństwa.

10.6. Wpływ planowania kadr na ochronę lotnictwa cywilnego

Przedstawione w pracy propozycje sposobu planowania kadrowego w zakresie ochrony lotnictwa cywilnego mają charakter czysto praktyczny, a wykonane w tym obszarze badania dostarczają ilościowych informacji na temat funkcjonowania procesu kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu. Pomiary wykonane na MPL Katowice w Pyrzowicach ukazują również wpływ infrastruktury technicznej na przepustowość punktu kontroli bezpieczeństwa. Zależność ta pozwoliła na wysnuć następujących wniosków o charakterze praktycznym i teoretycznym:

- Istnieją konkretne zależności przepustowości punktu kontroli bezpieczeństwa od sposobu wykonywania kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu podręcznego.
- Modernizacja urządzeń kontroli bezpieczeństwa nie zawsze musi oznaczać zwiększenie wydajności pracy na stanowisku pracy.
- Przepustowość nie zawsze jest priorytetem w planowaniu operacyjnym na lotnisku.
- Skuteczność wykonywanej kontroli gwarantuje bezpieczeństwo operacji lotniczych.
- Istotną rolę w planowaniu systemu ochrony lotniska stanowi organizacja procesu kontroli rozumianej z kadrowego punktu widzenia.
- Wskaźnik 0,25 wyznacza bezpieczną granicę pomiędzy przerostem zatrudnienia związanego np. z niewłaściwym planowaniem a niezbędną liczbą pracowników ochrony gwarantującą ciągłość operacyjną lotniska.

- Planowanie układów mieszanych kadry zatrudnionej na lotnisku w systemie czterozmianowym i trzyzmianowym stanowi kompromis dla sytuacji wymagającej zapewnienia odpowiedniej liczby operatorów kontroli.
- Planowanie nominalnej liczby OKB według istniejących PKB jest niewłaściwym działaniem, powodującym w rezultacie braki kadrowe, które wymiernie przekładają się na przepustowość, a także na skuteczność wykonywanej kontroli w PKB.
- Zbudowane w wyniku przeprowadzonych badań narzędzie automatyzuje proces dostosowania liczby otwartych PKB do aktualnego ruchu pasażerskiego.

10.7. Perspektywy dalszych badań

W pracy dokonano analizy procesów zachodzących w systemie kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu w porcie lotniczym. Stwierdzono, że mamy do czynienia z procesem hierarchicznym o złożonej strukturze. Zidentyfikowano zależności logiczne między wejściami i wyjściami poszczególnych podsystemów w hierarchii. Dodatkowo stwierdzono istnienie wielu zależności o charakterze subiektywnym lub nieprecyzyjnym niepoddających się pomiarowi lub obserwacji w rzeczywistym systemie. Było to podstawą do podjęcia decyzji o wyborze m.in. metod wnioskowania rozmytego jako sposobu rozwiązania problemu badawczego, polegającego na ocenie przepustowości punktu kontroli oraz skuteczności systemu kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu w zależności od kilkunastu czynników, spośród których wiele podlega kontroli zarządzającego portem lotniczym i tym samym może być zmiennymi decyzyjnymi w procesie zarządzania analizowanym systemem.

Opracowane modele oraz wyniki eksperymentów pokazują, że możliwe jest formalne opisanie złożonego systemu o dużym ładunku subiektywizmu i nieoznaczoności, jakim jest system kontroli bezpieczeństwa osób i bagażu, przy użyciu hierarchicznego systemu wnioskowania rozmytego. Ten sposób opisu pozwala na ocenę skuteczności działania oraz racjonalne skonfigurowanie poszczególnych elementów tego systemu, tym samym na uzyskanie pożądanego poziomu bezpieczeństwa w kontekście oczekiwanej przepustowości.

W trakcie badań uzyskano liczne efekty naukowe i praktyczne. Do pierwszej grupy należą:

- rozszerzenie obszaru zastosowań teorii zbiorów rozmytych na problematykę kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym,
- opracowanie metody integracji niepewnych, nieprecyzyjnych, niekompletnych, w dużym stopniu subiektywnych informacji pochodzących z wielu źródeł o różnym charakterze i różnym stopniu wiarygodności, w jeden

spójny system wnioskowania, który może dać w rezultacie oceny o charakterze ilościowym,

- opracowanie hierarchicznego modelu wnioskowania rozmytego opisującego badany system,
- stworzenie systemu eksperckiego do wspomagania zarządzania ważnym obszarem funkcjonowania portu lotniczego.

Do drugiej grupy można zaliczyć:

- stworzenie narzędzi obliczeniowych, pozwalających na ocenę skuteczności wybranych elementów, struktur i procedur systemu kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym:
 - urządzeń rentgenowskich do kontroli bagażu rejestrowanego i kabinowego,
 - bramek do wykrywania metalu w punktach kontroli bezpieczeństwa,
 - wariantów organizacji kontroli bagażu rejestrowanego,
 - pojedynczych OKB oraz pracujących wspólnie zespołów,
 - kontroli manualnej osób,
 - podsystemów: kontroli osób, bagażu rejestrowanego, bagażu podręcznego,
- dokonanie oceny istniejących rozwiązań techniczno-organizacyjnych stosowanych w Porcie Lotniczym Katowice-Pyrzowice, wraz z ich krytyczną analizą i sformułowaniem wniosków,
- opracowanie koncepcji możliwych wariantów zmian istniejących rozwiązań wraz z ich oceną, wykorzystującą opracowane modele i narzędzia komputerowe.

Przeprowadzone badania nie wyczerpują wszystkich ważnych zagadnień występujących w systemach kontroli bezpieczeństwa w transporcie lotniczym. Możliwe i celowe są dalsze prace badawcze, zwłaszcza w zakresie:

- uwzględnienia w całościowej ocenie systemu zabezpieczeń lotniska tych elementów, które w niniejszej pracy zostały pominięte: ochrony zewnętrznej, kontroli dostępu i kultury bezpieczeństwa,
- uwzględnienia nowych urządzeń i procedur związanych z gwałtownym rozwojem technologii, np. w obszarze wykrywania materiałów wybuchowych.

Bibliografia

- Abramowicz-Gerigk, T. (2012). Bezpieczeństwo manewrów krytycznych statków w systemie transportowym autostrady morskiej. *Prace Naukowe PW. Transport*, 83.
- Akgun, I., Kandakoglu, A., Ozok, A.F. (2010). Fuzzy integrated vulnerability assessment model for critical facilities in combating the terrorism. *Expert Systems with Applications*, 37(5): 3561–3573.
- Alards-Tomalin, D., Ansons, T.L., Reich, T.C., Sakamoto, Y., Davie, R., Leboe-McGowan, J.P., Leboe-McGowan, L.C. (2014). Airport security measures and their influence on enplanement intentions: Responses from leisure travelers attending a Canadian University. *Journal of Air Transport Management*, 37: 60–68.
- AlKheder, S., Alomair, A., Aladwani, B. (2019). Hold baggage security screening system in Kuwait International Airport using Arena software. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(3).
- Barros, A.G., Tomber, D.D. (2007). Quantitative analysis of passenger and baggage security screening at airports. *Journal of Advanced Transportation*, 41(2): 171–193.
- Bazargan, M., Guzhva, V.S. (2011). Impact of gender, age and experience of pilots on general aviation accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3): 962–970.
- Benda, P. (2015). Commentary: Harnessing advanced technology and process innovations to enhance aviation security. *Journal of Air Transport Management*, 48: 23–25.
- Boekhold, J., Faghri, A., Li, M. (2014). Evaluating security screening checkpoints for domestic flights using a general microscopic simulation model. *Journal of Transportation Security*, 7: 45–67.
- Bolfing, A., Halbherr, T., Schwaninger, A. (2008). How image based factors and human factors contribute to threat detection performance in x-ray aviation security screening. *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 5298 LNCS: 419–438.
- Bricker, J.B. (2005). Development and evaluation of the Air Travel Stress Scale. *Journal of Counseling Psychology*, 52(4): 615–628.

- Butler, V., Poole, R.W. (2002). Rethinking Checked Baggage Screening. *Policy Study*, 297.
- Cavada, J., Cortés, C., Rey, P. (2017). A simulation approach to modelling baggage handling systems at an international airport. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 75: 146–164.
- Caygill, J.S., Davis, F., Higson, S. (2012). Current trends in explosive detection techniques, *Talanta*, 88: 14–29.
- Choromański, W. (1999). Symulacja i optymalizacja w dynamice pojazdów szynowych, *Prace Naukowe PW. Transport*, 42.
- Chudzikiewicz, A., Melnik R. (2010). Symulacyjna ocena zderzeń dla przypadku pojazdu trakcyjnego, *Pojazdy Szynowe*, 3: 1–4.
- Commission implementing regulation (EU) 2015/1998 of 5 November 2015 laying down detailed measures for the implementation of the common basic standards on aviation security.
- Conho, A.L., Ramirez-Marquez, J.E. (2012). A mathematical framework for passenger screening optimization via a multi-objective evolutionary approach. *Computers & Industrial Engineering*, 62(4): 839–850.
- Czogała, E., Pedrycz, W. (1980). *Elementy i metody teorii zbiorów rozmytych*. Politechnika Śląska, Gliwice.
- Dąbrowska, J. (2011). Czynniki ludzkie w lotnictwie. *Prace Instytutu Lotnictwa*, 221: 66–70.
- De Barros, A.G., Tomber, D.D. (2007). Quantitative Analysis of Passenger and Baggage Security Screening at Airports. *Journal of Advanced Transportation*, 41(2): 171–193.
- de Lange, R., Samoilovich, I., van der Rhee, B. (2013). Virtual queuing at airport security lanes. *European Journal of Operational Research*, 225(1): 153–165.
- Dobruszkes, F., Givoni, M. & Vowles, T. (2017). Hello major airports, goodbye regional airports? Recent changes in European and US low-cost airline airport choice. *Journal of Air Transport Management*, 59: 50–62.
- Dorton, S., Liu, D. (2016). Effects of Baggage Volume and Alarm Rate on Airport Security Screening Checkpoint Efficiency using Queuing Networks and Discrete Event Simulation. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26: 95–109.

- Dubois, D., Prade, H. (1992). On the relevance of non-standard theories of uncertainty in modelling and pooling expert opinions. *Reliability Engineering & System Safety*, 36: 95–107.
- European Commission (2015a). Commission Regulation (EU) No 2015/1998 of 5 November 2015 laying down detailed measures for the implementation of the common basic standards on aviation security, *EU Official Journal*, L55/1, Brussels.
- European Commission (2015b). Commission Decision C (2015) 8005 of 16 November 2015 laying down detailed measures for the implementation of the common basic standards on aviation security, not published in EU Official Journal.
- European Commission (2010). Commission Regulation (EU) No 185/2010 of 4 March 2010 laying down detailed measures for the implementation of the common basic standards on aviation security. *EU Official Journal*, L55/1, Brussels, 2010.
- Fellner, A., Banaszek, K., Trómiński, P. (2012). The satellite based augmentation system-egnosc for non-precision approach global navigation satellite system, *Transport Problems*, 7(1): 5–19.
- Feng, Q., Sahin, H., Kapur, K.C. (2009). Designing airport checked-baggage-screening strategies considering system capability and reliability. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(2): 618–627.
- Flitton, G., Breckon, T.P., Megherbi, N. (2013). A comparison of 3D interest point descriptors with application to airport baggage object detection in complex CT imagery. *Pattern Recognition*, 46: 2420–2436.
- Forsyth, P. (2007). The impacts of emerging aviation trends on airport infrastructure. *Journal of Air Transport Management*, 13: 45–52.
- Fruhen, L.S., Mearns, K.J., Flin, R., Kirwan, B. (2014). Safety intelligence: An exploration of senior managers' characteristics. *Applied Ergonomics*, 45(4): 967–975.
- Future Travel Experience. Behind the Scenes of the New Schiphol Security Experience. 2015. Available online: <https://www.futuretravelexperience.com/2015/04/behind-scenes-new-schiphol-securityexperience/> [dostęp: 29.03.2019].
- Gerstenfeld, A., Berger, P.D. (2011). A decision-analysis approach for optimal airport security. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 4(1): 14–21.
- Gillen, D., Morrison, W.G. (2015). Aviation security: Costing, pricing, finance and performance. *Journal of Air Transport Management*, 48, 1–12.

- Gkritzta, K., Niemeier, D., Mannering, F. (2006). Airport security screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment. *Journal of Air Transport Management*, 12(5): 213–219.
- Gordon, R., Kirwan, B., Perrin, E. (2004). Measuring safety culture in a research and development centre: A comparison of two methods in the Air Traffic Management domain. 23rd International NeTWork-Workshop “Safety Culture and Behavioural Change at the Workplace”, Blankensee/FRG, September 9–11.
- Grabarek, I., Choromański, W. (2010). The influence of mental workload on operator’s efficiency and musculoskeletal fatigue, IFMBE Proceedings, 6th World Congress of Biomechanics: 123–126.
- Graves, I., Butavicius, M., MacLeod, V., Hayer, R., Parsons, K., Kuester, N., McCormac, A., Jacques, P., Jognson, R. (2011). The Role of the Human Operator in Image-Based Airport Security Technologies. *Studies in Computational Intelligence*, 338: 147–181.
- Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R. (2001). Rough sets theory for multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 129: 1–47.
- GTL, (2014a), <http://www.katowice-airport.com/pl/lotnisko/statystyki-roczne> [dostęp: 3.01.2014].
- GTL (2014b), <http://www.katowice-airport.com/pl/lotnisko/polityka-bezpieczenstwa> [dostęp: 3.01.2014].
- Gucma, L., Pietrzykowski, Z. (2006). Ship manoeuvring in restricted areas: An attempt to quantify dangerous situations using a probabilistic-fuzzy method. *The Journal of Navigation*, 59 (2): 251–262.
- Hainen, A.M., Remias, S.M., Bullock, D.M., Mannering, F.L. (2013). A hazard-based analysis of airport security transit times. *Journal of Air Transport Management*, 32: 32–38.
- Hättenschwiler, N., Sterchi, Y., Mendes, M., Schwaninger, A. (2018). Automation in airport security X-ray screening of cabin baggage: Examining benefits and possible implementations of automated explosives detection. *Applied Ergonomics*, 72: 58–68.
- Huegli, D., Merks, S., Schwaninger, A. (2020). Automation reliability, human-machine system performance, and operator compliance: A study with airport security screeners supported by automated explosives detection systems for cabin baggage screening. *Applied Ergonomics*, 86, 103094.

- ICAO (2010). Civil Aviation Security Manual – Protection Against Unlawful Interference, Document 8973, Montreal, Canada.
- Jackson, B.A., LaTourrette, T. (2015). Assessing the effectiveness of layered security for protecting the aviation system against adaptive adversaries. *Journal of Air Transport Management*, 48: 26–33.
- Jacobson, S.H., Khatibi, A., Yu, G. (2017). When should TSA PreCheck be offered at no cost to travelers? *Journal Transport Security*, 10: 23–29.
- Jacyna, M., Wasiak, M., Kłodawski, M., Żak, J. (2014). *Model symulacyjny EMITRANSYS jako narzędzie do analizy i planowania rozwoju krajowego systemu transportowego*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa.
- Janssen, S., Matias, D., Sharpanskykh, A. (2020b). An agent-based empirical game theory approach for airport security patrols. *Aerospace*, 7(1), 8.
- Janssen, S., van der Sommen, R., Dilweg, A., Sharpanskykh, A. (2020a). Data-Driven Analysis of Airport Security Checkpoint Operations. *Aerospace*, 7, 69.
- Jensen, K., Kristensen, L., Wells, L. (2007). Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 9(3–4): 213–254.
- Kacprzyk J. (1986). *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Kardas-Cinal, E. (2013). Bezpieczeństwo i komfort jazdy pojazdu szynowego z uwzględnieniem losowych nierówności geometrycznych toru. *Prace Naukowe PW. Transport*, 94.
- Kawalec, P., Kozłowski, M., Rudnicki, M. (2014). Algorytmizacja procesu sprawdzania gotowości operacyjnej portu lotniczego. *Prace Naukowe PW. Transport*, 102: 47–57.
- Kierzkowski, A., Kisiel, T. (2015). An impact of the operators and passengers behavior on the airport's security screening reliability, w: Nowakowski, T., (red.), *Safety and Reliability: Methodology and Applications*: 2345–2354, CRC Press/Taylor & Francis/Balkema.
- Kierzkowski, A., Kisiel, T. (2017). Simulation model of security control system functioning: A case study of the Wrocław Airport terminal. *Journal of Air Transport Management*, 64, 173–185.

- Kierzkowski, A., Kisiel, T. (2017a). A model of check-in system management to reduce the security checkpoint variability. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 74: 80–98.
- Kierzkowski, A., Kisiel, T. (2017b). Evaluation of a Security Control Lane with the Application of Fuzzy Logic. *Procedia Engineering*, 187: 656–663.
- Kirschenbaum A., Mariani M., Van Gulijk C., Rapaport C., Lubasz, S. (2012). Trusting technology: Security decision making at airports. *Journal of Air Transport Management*, 25: 57–60.
- Kirschenbaum, A. (2013). The cost of airport security: The passenger dilemma. *Journal of Air Transport Management*, 30: 39–45.
- Kirschenbaum, A. (2015). The social foundations of airport security. *Journal of Air Transport Management*, 48: 34–41.
- Kirschenbaum, A., Mariani, M., Van Gulijk, C., Lubasz, S., Rapaport, C., Andriessen, H. (2012). Airport security: An ethnographic study. *Journal of Air Transport Management*, 18: 68–73. [CrossRef]
- Kirschenbaum, A., Mariani, M., Van Gulijk, C., Rapaport, C., Lubasz, S. (2012). Trusting technology: Security decision making at airports. *Journal of Air Transport Management*, 25: 57–60. [CrossRef]
- Kirwan, B., Devine, J. (2008). Safety Culture in Air Traffic Management. A White Paper. EUROCONTROL/FAA action plan 15.
- Komisja Europejska (2010b). Decyzja Komisji (UE) Nr 774/2010 z dnia 13 kwietnia 2010 r. ustanawiająca szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego, niepublikowana w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej.
- Komisja Europejska (2010a). Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 185/2010 z dnia 4 marca 2010 r. ustanawiające szczegółowe środki w celu wprowadzenia w życie wspólnych podstawowych norm ochrony lotnictwa cywilnego, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L55/1, Bruksela.
- Konwencja (1959). Konwencja o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Dz. U. nr 35, poz. 212, z dn. 26 czerwca 1959.
- Konwencja (1971). Konwencja w sprawie przestępstw i niektórych innych czynów popełnionych na pokładzie statków powietrznych, Dz. U. nr 15, poz. 147 z dn. 24 czerwca 1971.

- Konwencja (1972). Konwencja o zwalczaniu bezprawnego zawładnięcia statkami powietrznymi, Dz. U. nr 25, poz. 181 i 183 z dn. 26 czerwca 1972.
- Konwencja (1976). Konwencja o zwalczaniu bezprawnych czynów skierowanych przeciwko bezpieczeństwu lotnictwa cywilnego, Dz. U. nr 8, poz. 38 z dn. 23 stycznia 1976.
- Kozłowski, M. (2004). *Metoda oceny gotowości operacyjnej portu lotniczego*, rozprawa doktorska, WT PW, Warszawa.
- Kozłowski, M., Choromański, W. (2014). PRT simulation research. *Archives of Transport*, 27–28 (3–4): 95–102.
- Kozłowski M., Skorupski J., Stelmach, A. (2008). Wpływ gotowości operacyjnej na przepustowość portu lotniczego, w: *Metody Badania Gotowości Systemów*. ITE PIB, Radom: 183–191.
- Le Coze, J.C. (2013). What have we learned about learning from accidents? Post-disasters reflections. *Safety Science*, 51(1): 441–453.
- Lee, A.J., Jacobson, S.H. (2011). The impact of aviation checkpoint queues on optimizing security screening effectiveness. *Reliability Engineering and System Safety*, 96: 900–911.
- Leone, K., Liu, R. (2005). The key design parameters of checked baggage security screening systems in airports. *Journal of Air Transport Management*, 11(2): 69–78.
- Leone, K., Liu, R. (2011). Improving airport security screening checkpoint operations in the US via paced system design. *Journal of Air Transport Management*, 17: 62–67.
- Li, Y., Gao, X., Xu, Z., Zhou, X. (2017). Network-based queuing model for simulating passenger throughput at an airport security checkpoint. *Journal of Air Transport Management, Elsevier*, 66(C): 13–24.
- Liou, J., Tang, C.-H., Yeh, W.-C., Tsai, C.-Y., 2011. A decision rules approach for improvement of airport service quality. *Expert Systems with Applications*, 38(11): 13723–13730.
- Lower, M., Magott, J., Skorupski, J. (2013). Air Traffic Incidents Analysis with the Use of Fuzzy Sets. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 7894: 306–317.
- Malakis, S., Kontogiannis, T., Kirwan, B. (2010a). Managing emergencies and abnormal situations in air traffic control (part I), Taskwork strategies. *Applied Ergonomics* 41(4): 620–627.

- Malakis, S., Kontogiannis, T., Kirwan, B. (2010b). Managing emergencies and abnormal situations in air traffic control (part II): Teamwork strategies. *Applied Ergonomics*, 41(4): 628–635.
- Malarski, M. (2006). *Inżynieria ruchu lotniczego*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa.
- Malarski, M., Skorupski, J. (2012). Problemy obsługi pasażerów w regionalnym porcie lotniczym. *Przegląd Komunikacyjny*, 67(2): 60–65.
- Malarski, M., Skorupski, J., Stelmach A. (2007). Algorithm for Airport Usability Factor Investigation, w: Aven, T., Vinnem J.E. (red.), *Risk, Reliability and Societal Safety, vol. 3: Application Topics*. Taylor & Francis/Balkema.
- Maloof, M.A., Michalski R.S. (1997). Learning symbolic descriptions of shape for object recognition in X-ray images. *Expert Systems with Applications*, 12(1): 11–20.
- Manerowski, J., Lewitowicz, J., Żmudziński, Z. (1999). *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej*, t. 4. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa.
- McCarley, J., Kramer, A., Wickens, C., Vidoni, E., Boot, W. (2004). Visual Skills in Airport-Security Screening. *Psychological Science*, 15, 302–306.
- McCarley, J.S. (2009). Response criterion placement modulates the benefits of graded alerting systems in a simulated baggage screening task. *Human Factors & Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 53(17): 1106–1111.
- Mearns, K., Kirwan, B., Reader, T.W., Jackson, J., Kennedy, R., Gordon, R. (2013). Development of a methodology for understanding and enhancing safety culture in Air Traffic Management. *Safety Science*, 53: 123–133.
- Mendes, M., Schwaninger, A., Strelbel, N., Michel, S. (2012). Why laptops should be screened separately when conventional x-ray screening is used. *Proceedings – International Carnahan Conference on Security Technology*: 267–273.
- Merkisz-Guranowska, A., Kamyszek, K., Andrzejewska, S. (2013). Modelowanie procesu odprawy pasażerów w porcie lotniczym. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 14 (3): 225–234.
- Michel, S., Mendes, M., de Ruitter, J.C., Koomen, G.C.M., Schwaninger, A. (2014). Increasing X-ray image interpretation competency of cargo security screeners. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44: 551–560.

- Michel, S., Mendes, M., Schwaninger, A. (2010). Can the difficulty level reached in computer-based training predict the results in x-ray image interpretation tasks?, 2010 International IEEE Carnahan Conference on Security Technology: 146–155.
- MTBiGM (2012). Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 31 lipca 2012 r. w sprawie Krajowego Programu Ochrony Lotnictwa Cywilnego, Dz. U. 2012, poz. 912.
- MTBiGM (2013). Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie wymagań technicznych i eksploatacyjnych dla lotnisk użytku publicznego podlegających obowiązkowi certyfikacji, Dz. U. 2013, poz. 1020.
- Naji, M., Abdelhalim, S., Al-Ani, A., Al-Kilidar, H. (2018). Airport security screening process: A review. CICTP 2017: Transportation Reform and Change-Equity, Inclusiveness, Sharing, and Innovation – Proceedings of the 17th COTA International Conference of Transportation Professionals, 3978–3988.
- Neiderman, E.C., Fobes, J.L. (2009). Operational test and evaluation of human factors interventions for airport security screeners. *Human Factors & Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 53 (17): 1094–1097.
- Nie, X. (2011). Risk-based grouping for checked baggage screening systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 96, 1499–1506.
- Nie, X., Batta, R., Drury, C.G., Lin, L. (2009). Passenger grouping with risk levels in an airport security system. *European Journal of Operational Research*, 194(2): 574–584.
- Nie, X., Parab, G., Batta, R., Lin, L. (2012). Simulation-based Selectee Lane queueing design for passenger checkpoint screening. *European Journal of Operational Research*, 219(1): 146–155.
- Nikolaev, A.G., Lee, A.J., Jacobson, S.H. (2012). Optimal Aviation Security Screening Strategies With Dynamic Passenger Risk Updates. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1): 203–212.
- Oliva, G., Panzieri, S., Setola, R. (2011). Fuzzy dynamic input–output inoperability model. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 4 (3–4): 165–175.
- Parlament Europejski (2008). Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 300/2008 z dnia 11 marca 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w dziedzinie ochrony lotnictwa cywilnego i uchylające rozporządzenie (WE) nr 2320/2002, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L97/72, Bruksela.

- Paulter, N.G. (2001). *Users' Guide for Hand-Held and Walk-Through Metal Detectors*. National Institute of Justice Office of Science and Technology, Washington.
- Piegat, A. (1999). *Modelowanie i sterowanie rozmyte*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999.
- Pietrzykowski, Z., Magaj, J., Wolejsza, P., Chomski, J. (2010). Fuzzy logic in the navigational decision support process onboard a sea-going vessel. *Lecture Notes in Computer Science*, 6113: 185–193.
- Poole Jr., R.W. (2015). Fresh thinking on aviation security. *Journal of Air Transport Management*, 48: 65–67.
- Prawo Lotnicze (2002). Ustawa z dnia 3 lipca 2002 (Dz. U. z 2002 r., nr 130, poz.1112), z późn. zmianami.
- Prentice, B.E. (2015). Canadian airport security: The privatization of a public good. *Journal of Air Transport Management*, 48: 52–59.
- Price, J.C., Forrest, J.S., (2013). *Practical Aviation Security, Predicting and Preventing Future Threats*. Elsevier.
- Protokół (2004). Protokół o zwalczaniu bezprawnych czynów przemocy w portach lotniczych obsługujących międzynarodowe lotnictwo cywilne, Dz. U. nr 48, poz. 348 z dn. 31 maja 2004.
- Pyza, D. (2010). System transportowy i jego ukształtowanie w systemie logistycznym Polski. *Prace Naukowe PW. Transport*, 76: 113–129.
- Rae, A., Alexander, R. (2017). Forecasts or fortune-telling: When are expert judgments of safety risk valid? *Safety Science*, 99, 156–165.
- Regulation of the Minister of Transport, Construction and Maritime Economy of July 31, 2012 on the National Program for Civil Aviation Security.
- Rusiłowicz, K. (2011). Shaminder Puri v. Straż Graniczna: przeszukanie na lotnisku a prawa człowieka. *Program Spraw Precedensowych, Biuletyn Informacyjny Helsińskiej Fundacji Praw Człowieka*, 44–45(1–2): 1–4.
- Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L. (1997). *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*. WN PWN, rozdział 3.
- Schiphol. Privium: Live Life in the Fast Lane. 2019. Available online: <https://www.schiphol.nl/nl/privium/> [dostęp: 29.03.2019].

- Schwaninger, A., Hardmeier, D., Hofer, F. (2004). Measuring visual abilities and visual knowledge of aviation security screeners. 38th Annual IEEE International Carnahan Conference Security Technology: 258–264.
- Seidenstat, P., Splane, F.X. (eds.), (2009). *Protecting Airline Passengers in the Age of Terrorism*. Praeger.
- Sekhar, P.K., Brosha, E.L., Mukundan, R., Linker, K.L., Brusseau, C., Garzon, F.H. (2011). Trace detection and discrimination of explosives using electrochemical potentiometric gas sensors. *Journal of hazardous materials*, 190: 125–132.
- Sewell, E.C., Lee, A.J., Jacobson, S.H. (2013). Optimal allocation of aviation security screening devices. *Journal of Transportation Security*, 6: 103–116.
- Sewell, E.C., Attagara, J., Kobza, J.E., Jacobson, S.H. (2012). Allocating explosive screening devices for aviation security. *Journal of Transportation Security*, 5(2), 141–155.
- Siergiejczyk, M., Krzykowska, K. (2015). Problematyka niezawodnościowo-eksploatacyjna systemów ochrony peryferyjnej portów lotniczych. *Przegląd Komunikacyjny*, 70 (2): 5–8.
- Siergiejczyk, M., Krzykowska, K., Rosiński, A. (2015). Reliability assessment of integrated airport surface surveillance system, w: Zamojski (red.), Proceedings of the Ninth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 286, Springer International Publishing.
- Siler, W., Buckley, J.J. (2005). *Fuzzy expert system and fuzzy reasoning*. Wiley.
- Singh, S., Singh, M. (2003). Explosives detection systems for aviation security: a review. *Signal Processing*, 83 (1): 31–55.
- Skorupski, J. (2014). Multi-criteria group decision making under uncertainty with application to air traffic safety. *Expert Systems with Applications*, 41(16): 7406–7414.
- Skorupski, J. (2015). Automatic verification of a knowledge base by using a multi-criteria group evaluation with application to security screening at an airport. *Knowledge-Based Systems*, 85: 170–180.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2014). Rozmyty model oceny urządzeń systemu kontroli bagażu w porcie lotniczym, w: Skorupski J. (red.), *Współczesne problemy inżynierii ruchu lotniczego – modele i metody*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2014.

- Skorupski, J., Uchroński, P. (2014). System wnioskowania rozmytego do oceny skuteczności kontroli bagażu rejestrowanego w porcie lotniczym, Wydział Transportu PW, opracowanie wewnętrzne.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2014b). Rozmyty model oceny pracy operatorów kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym, Wydział Transportu PW, opracowanie wewnętrzne.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2015). A fuzzy system for evaluation of baggage screening devices at an airport, *Safety and Reliability: Methodology and Applications – Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014*: 797–804, CRC Press/Taylor & Francis/Balkema.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2015). Fuzzy inference system for the efficiency assessment of hold baggage security control at the airport. *Safety Science*, 79: 314–323.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2015a). A fuzzy reasoning system for evaluating the efficiency of cabin baggage screening at airports. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 54: 157–175.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2016). A fuzzy system to support the configuration of baggage screening devices at an airport. *Expert Systems with Applications*, 44: 114–125.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2016a). Managing the process of passenger security control at an airport using the fuzzy inference system. *Expert Systems With Applications*, 54: 284–293.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2017). A fuzzy model for evaluating metal detection equipment at airport security screening checkpoints. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 16: 1–21.
- Skorupski, J., Uchroński, P. (2018). Evaluation of the effectiveness of an airport passenger and baggage security screening system. *Journal of Air Transport Management*, 66, 53–64, doi: 10.1016/j.jairtraman.2017.10.006.
- Skorupski, J., Uchroński, P., Łach, A. (2018). A method of hold baggage security screening system throughput analysis with an application for a medium-sized airport. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 88: 52–73.
- Smart, K.P. (1997). The Lockerbie Investigation: Understanding of the Effects of the Detonation of ‘Improvised Explosive Devices’ on Aircraft Pressure Cabins. *Process Safety and Environmental Protection*, 75(3): 138–144.
- Smiths Detection (2013). Parcel & Baggage Inspection using Low Energy X-Rays, website page ID 6003, published on 03.06.2013.

- Smolarek, L., Blokus-Roszkowska, A. (2013). Application of Simulation Methods for Evaluating the Sea Waterways Traffic Organisation, *ISRN Applied Mathematics*, article ID: 715142.
- Soukour, A., Devendeville, L., Lucet, C., Moukrim, A. (2013). A Memetic Algorithm for staff scheduling problem in airport security service. *Expert Systems with Applications*, 40(18): 7504–7512.
- Stelmach, A., Novak, A., Novak-Sedlackova A. (2012). Międzynarodowe regulacje prawnoorganizacyjne w lotnictwie cywilnym. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom.
- Stewart, M.G., Mueller, J. (2014). Cost-benefit analysis of airport security: Are airports too safe? *Journal of Air Transport Management*, 35: 19–28.
- Stewart, M.G., Mueller, J. (2015). Responsible policy analysis in aviation security with an evaluation of PreCheck. *Journal of Air Transport Management*, 48: 13–22.
- Stewart, M.G. (2010). Risk-informed decision support for assessing the costs and benefits of counter-terrorism protective measures for infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 3(1): 29–40.
- Stewart, M., Mueller, J. (2016). Risk-Based Passenger Screening: Risk and Economic Assessment of TSA PreCheck Increased Security at Reduced Cost?, Research Report No. 283.06, The University of Newcastle, Australia.
- Stewart, M.G., Mueller, J. (2017). Risk and economic assessment of expedited passenger screening and TSA PreCheck. *Journal Transport Security*, 10: 1–22.
- Stroeve, S.H., Sharpanykh, A., Kirwan, B. (2011). Agent-based organizational modeling for analysis of safety culture at an air navigation service provider. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(5): 515–533.
- Tamasi, G., Demichela, M. (2011). Risk assessment techniques for civil aviation security. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(8): 892–899.
- Transportation Security Administration. 2019. TSA Pre. Available online: <https://www.tsa.gov/precheck> [dostęp: 29.03.2019].
- Tsabadze, T. (2006). A method for fuzzy aggregation based on group expert evaluations. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(10): 1346–1361.
- Tyagi, S.K., Pandey, D., Tyagi, R. (2010). Fuzzy set theoretic approach to fault tree analysis. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2: 276–283.
- Uchroński, P. (2011). Impact of terminal infrastructure on the security of civil aviation. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Transport*, 72: 101–108.

- Uchroński, P. (2019). Human factor in the context of assessment of psychophysical predispositions of groundhandling employee. *Archives of Transport System Telematic*, 12, 3: 40–49.
- Uchroński, P. (2019). Number of prohibited items not accepted for transportation as a measure of the treat in civil aviation. *Archives of Transport System Telematic*, 12, 3: 30–33.
- Uchroński, P., Skorupski, J. (2014a). Telematic Support of Baggage Security Control at the Airport, w: J. Mikulski (Ed.), *Telematics – Support for Transport*. Springer, Berlin Heidelberg: 215–224.
- Uchroński, P., Skorupski, J. (2014b). Rozmyty model oceny urządzeń systemu kontroli bagażu w porcie lotniczym, w: Skorupski J. (red.), *Współczesne problemy inżynierii ruchu lotniczego – modele i metody*. Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa.
- Uchroński, P., Skorupski, J. (2014c). Model for the evaluation of the airport security system. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Transport*, 83: 251–260.
- Uchroński, P., Skorupski, J. (2015b). A fuzzy reasoning system for evaluating the efficiency of cabin luggage screening at airports. *Transportation Research part C: Emerging Technologies*, 54: 157–175.
- Uchroński, P., Skorupski, J. (2015d). A fuzzy model for evaluating airport security screeners' work. *Journal of Air Transport Management*, 48: 42–51.
- van Boekhold, J., Faghri, A., Li, M. (2014). Evaluating security screening checkpoints for domestic flights using a general microscopic simulation model. *Journal of Transportation Security*, 7: 45–67.
- Wales, A., Halbherr, T., Schwaninger, A. (2009). Using speed measure to predict performance in x-ray luggage screening tasks, 43rd Annual Carnahan Conference on Security Technology: 212–215.
- Wan, Y., Jiang, C., Zhang, A. (2015). Airport congestion pricing and terminal investment: Effects of terminal congestion, passenger types, and concessions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 82: 91–113.
- Wang, T., Chuang, L. (2014). Psychological and physiological fatigue variation and fatigue factors in aircraft line maintenance crews. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(1): 107–113.
- Wawrzyński, W., Kasprzyk, Z., Siergiejczyk, M. (2014). Model symulacyjny Systemu Kontroli Dostępu stosowanego w bazach logistycznych. *Logistyka*, 4.

- Weintrit, A. (2012). Marine and offshore telematics systems. *Communications in Computer and Information Science*, 329: 334–348.
- Wells, K., Bradley, D.A. (2012). A review of X-ray explosives detection techniques for checked baggage. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(8): 1729–1746.
- Wetter, O.E. (2013). Imaging in airport security: Past, present, future, and the link to forensic and clinical radiology. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 1(4): 152–160.
- Wienenke, M., Koch, W. (2009). Combined person tracking and classification in a network of chemical sensors. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2 (1–2): 51–67.
- Wong, S., Brooks, N. (2015). Evolving risk-based security: A review of current issues and emerging trends impacting security screening in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 48: 60–64.
- Wu, P.P., Mengersen, K. (2013). Scenarios for a complex systems airport modelling framework. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 47: 124–140.
- Wu, W., Liu, G., Zhou, Z., Gu, Z. (2008). Image quality assessment software of security screening system. Proceedings of 42nd Annual IEEE International Carnahan Conference on Security Technology: 107–111.
- Yager, R.R., Filev, D.P. (1995). *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Yildiz, Y.O., Abraham, D.Q., Panetta, K., Agaian, S. (2008). A New Concept of Airport Security Screening, IEEE Conference on Technologies for Homeland Security Waltham 2008: 444–448.
- Yoo, K., Choi, Y. (2006). Analytic hierarchy process approach for identifying relative importance of factors to improve passenger security checks at airports. *Journal of Air Transport Management*, 12: 135–142.
- Yu, M.-M., Chern, C.-C., Hsiao, B. (2013). Human resource rightsizing using centralized data envelopment analysis: Evidence from Taiwan's Airports. *Omega*, 41 (1): 119–130.
- Zabłocki, W., Ilczuk, P. (2013). Koncepcja metody lokalizacji balis na liniach wyposażonych w system ETCS. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne*, 3 (102): 121–132.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338–353.

- Zadeh, L.A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 3: 28–44.
- Zadeh, L.A. (2015). Fuzzy logic – a personal perspective. *Fuzzy Sets and Systems*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fss.2015.05.009>.
- Zbiegień-Maciąg, L. (2013). *Kultura w organizacji. Identyfikacja kultur znanych firm*. PWN, Warszawa.
- Żurek, J., Grzesik, N. (2013). Fuzzy expert aircraft onboard control systems assistant. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*: 1063–1068.

Wykaz skrótów

BHS	-	Baggage Handling System
BS	-	Body Skaner
CCTV	-	Closed-Circuit TeleVision
COBAFAS	-	Carry-On BAggage Fuzzy Assessment
EDS	-	Explosive detection system
ETD	-	Explosive trace detection
HBSS	-	Hold baggage detection system
HMC	-	Heimann Management Console
ICAO	-	International Civil Aviation Organization
KPOLC	-	Krajowy Program Ochrony Lotnictwa Cywilnego
KTW	-	Katowice (kod IATA)
MPL	-	Międzynarodowy Port Lotniczy
OKB	-	Operator kontroli bezpieczeństwa
PKB	-	Punkt kontroli bezpieczeństwa
RBES	-	Narzędzie komputerowe do oceny pracowników
RTG	-	Urządzenie rentgenowskie
SZPL	-	System Zabezpieczeń Portu Lotniczego
TIP	-	Treat Image Projection
WTMD	-	Walk trough metal detection
ZPL	-	Zarządzający portem lotniczym

Wykaz rysunków

Rysunek 1. Struktura modelu głównych czynników wpływających na stan bezpieczeństwa lotniska	16
Rysunek 2. Ogólny schemat algorytmu kontroli bagażu rejestrowanego w PKB	23
Rysunek 3. Zasada działania urządzenia do prześwietlania bagażu z jednym generatorem	26
Rysunek 4. Widok bagażu z różnych perspektyw	27
Rysunek 5. Heimann Smiths 6046 si (MPL Katowice-Pyrzowice)	28
Rysunek 6. Heimann Smiths 6040 aTiX (MPL Katowice-Pyrzowice)	28
Rysunek 7. Struktury kontroli bezpieczeństwa: a) w bramce odlotowej, b) system zdecentralizowany, c) system scentralizowany	30
Rysunek 8. Zasada wizualizacji zagrożenia przez bramki WTMD	33
Rysunek 9. Bramki WTMD zainstalowane w MPL Katowice-Pyrzowice: z lewej Ceia, po prawej Rapiscan	37
Rysunek 10. Przykładowa trójkątna funkcja przynależności zbioru rozmytego A	59
Rysunek 11. Przykładowa trapezowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A	60
Rysunek 12. Przykładowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A typu Z	60
Rysunek 13. Przykładowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A typu S	61
Rysunek 14. Przykładowa funkcja przynależności zbioru rozmytego A typu gaussowskiego	61
Rysunek 15. Ogólna budowa systemu wnioskowania rozmytego	66
Rysunek 16. Standardowy przepływ pasażerów na stanowisku wyposażonym w WTMD	81

Rysunek 17. Standardowy przepływ pasażerów na stanowisku wyposażonym w body skaner	84
Rysunek 18. Empiryczna częstość alarmów i kontroli manualnych	87
Rysunek 19. Czas kontroli w różnych sytuacjach operacyjnych	88
Rysunek 20. Model procesu kontroli z wykorzystaniem WTMD	90
Rysunek 21. Model procesu kontroli z wykorzystaniem body skanera	92
Rysunek 22. Empiryczne dystrybuanty czasu kontroli dla sekwencji a) Alarm → Kontrola manualna, b) Alarm → Powtórne przejście → Brak kontroli	95
Rysunek 23. Empiryczne dystrybuanty czasu kontroli dla przypadku a) bez kontroli manualnej, b) pełnej kontroli manualnej	96
Rysunek 24. Schemat rozmytego modelu do oceny systemu kontroli osób	98
Rysunek 25. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej <i>Powierzchnia wykrywania</i>	99
Rysunek 26. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej <i>Rozdzielczość wykrywania</i>	100
Rysunek 27. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej <i>Czułość</i>	101
Rysunek 28. Funkcje przynależności wartości wyjściowych zmiennych lingwistycznych <i>Wykrywalność</i> oraz <i>Skuteczność kontroli</i>	103
Rysunek 29. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej <i>Rozdzielczość wizualizacji</i>	104
Rysunek 30. Funkcje przynależności wartości zmiennej lingwistycznej <i>Częstość kontroli ETD</i> oraz <i>Częstość kontroli manualnych</i>	105
Rysunek 31. Funkcje przynależności wartości wyjściowej zmiennej lingwistycznej <i>Procedury</i>	106
Rysunek 32. Schemat rozmytego modelu do oceny systemu kontroli bagażu rejestrowanego	149
Rysunek 33. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej <i>Ocena pracownika</i>	153
Rysunek 34. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej <i>Kontrola OKB</i>	155
Rysunek 35. Funkcje przynależności zmiennych lingwistycznych <i>Ocena urządzenia</i> oraz <i>Bagaż rejestrowany</i>	159

Rysunek 36. Schemat rozmytego modelu do oceny systemu kontroli bagażu podręcznego	169
Rysunek 37. Funkcja przynależności zmiennej wejściowej <i>Ocena urzędnika</i>	170
Rysunek 38. Postać funkcji przynależności wartości zmiennej lingwistycznej <i>Błędy typu A</i>	172
Rysunek 39. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej <i>Ocena pracownika</i>	174
Rysunek 40. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej <i>Liczba kontroli manualnych B</i>	176
Rysunek 41. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej <i>Liczba kontroli manualnych C</i>	177
Rysunek 42. Funkcje przynależności lingwistycznej zmiennej wyjściowej <i>Kontrola manualna</i>	178
Rysunek 43. Funkcje przynależności zmiennej lingwistycznej <i>Bagaż podręczny</i>	183
Rysunek 44. Wpływ liczby kontroli manualnych C na skuteczność kontroli bagażu podręcznego	187
Rysunek 45. Wpływ wprowadzenia stanu podwyższonego zagrożenia na skuteczność kontroli bagażu podręcznego	190
Rysunek 46. Zdjęcie poglądowe Polipsychografu	197
Rysunek 47. Zależność pomiędzy zakresem uwagi a stopniem koncentracji ..	198
Rysunek 48. Reprezentacja graficzna wyników testów	201
Rysunek 49. Reprezentacja graficzna wyników przeprowadzonych testów ...	203
Rysunek 50. Zależność wykrywalności przedmiotów zabronionych od wskaźnika liczby błędnej interpretacji obrazu	204
Rysunek 51. Wyniki testów osób nierealizujących zadań dot. kontroli bezpieczeństwa	207
Rysunek 52. Porównanie czasu ukończenia testów realizowanych przez OKB i innych pracowników	208
Rysunek 53. Porównanie liczby błędów popełnionych podczas testów przez OKB i pozostałych pracowników	209
Rysunek 54. Rysunek poglądowy punktu kontroli	214

Rysunek 55. Punkt kontroli bezpieczeństwa w przyszłości	215
Rysunek 56. Czterozmianowy system planowania	216
Rysunek 57. Nominalna obsada OKB pracujących w systemie trzymianowym	218
Rysunek 58. Niezbędna liczba OKB pracujących w systemie czterozmianowym	219
Rysunek 59. Niezbędna liczba OKB pracujących w systemie trzymianowym	220

Wykaz tabel

Tabela 1. Wykaz aktów prawnych Unii Europejskiej	19
Tabela 2. Podstawowe <i>s</i> -normy	63
Tabela 3. Podstawowe <i>t</i> -normy	64
Tabela 4. Dane pomiarowe na stanowisku wyposażonym w WTMD (31.07.2019)	82
Tabela 5. Wartość oczekiwana czasu kontroli dla różnych ciągów zdarzeń	82
Tabela 6. Dane pomiarowe na stanowisku wyposażonym w BS (16.07.2019)	85
Tabela 7. Wartość oczekiwana czasu kontroli dla różnych ciągów zdarzeń	85
Tabela 8. Baza wiedzy lokalnego modelu rozmytego <i>Wykrywalność</i> (fragment)	102
Tabela 9. Baza wiedzy lokalnego modelu rozmytego <i>Procedury</i> (fragment).....	106
Tabela 10. Baza wiedzy modelu rozmytego <i>Skuteczność kontroli</i> (fragment)	107
Tabela 11. Parametry wejściowe wykorzystane do oceny skuteczności BS i WTMD	107
Tabela 12. Ocena skuteczności BS i WTMD z wykorzystaniem systemu wnioskowania rozmytego	108
Tabela 13. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 1	110
Tabela 14. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 1	110
Tabela 15. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 2	111
Tabela 16. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 2	112

Tabela 17. Parametry wejściowe do oceny skuteczności BS i WTMD w Scenariuszu 2	112
Tabela 18. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 3	114
Tabela 19. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 3	114
Tabela 20. Parametry wejściowe do oceny skuteczności WTMD w Scenariuszu 3	115
Tabela 21. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem WTMD dla Scenariusza 4	116
Tabela 22. Dane do modelu obsługi z wykorzystaniem body skanera dla Scenariusza 4	117
Tabela 23. Zestawienie wyników eksperymentów symulacyjnych	117
Tabela 24. Ekspercka ocena ważności poszczególnych kryteriów	135
Tabela 25. Obiektywne oceny wariantów	135
Tabela 26. Ekspercka ocena wariantów – kryteria subiektywne	136
Tabela 27. Agregacja wag, które zostały przypisane do kryteriów przez ekspertów	137
Tabela 28. Znormalizowane oceny wariantów dokonane przez eksperta 2	138
Tabela 29. Podsumowanie oceny wariantów	138
Tabela 30. Wyniki defuzyfikacji przeprowadzonej metodą bisekcji	139
Tabela 31. Scenariusz 1 – zmienione wartości ocen wariantów	140
Tabela 32. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 1	140
Tabela 33. Scenariusz 2 – zmienione wartości ocen wariantów	141
Tabela 34. Scenariusz 2 – ekspercka ocena ważności poszczególnych kryteriów	141
Tabela 35. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 2	141
Tabela 36. Scenariusz 3 – ekspercka ocena ważności poszczególnych kryteriów	142
Tabela 37. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 3	142
Tabela 38. Scenariusz 4 – zmienione wartości ocen wariantów	143

Tabela 39. Scenariusz 4 – ekspercka ocena ważności poszczególnych kryteriów	143
Tabela 40. Wyniki oceny wariantów dla Scenariusza 4	143
Tabela 41. Ocena wpływu wariantu organizacji kontroli na skuteczność kontroli	151
Tabela 42. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu <i>Kontrola OKB</i>	155
Tabela 43. Oszacowanie liczby błędów popełnianych przez OKB przy kontroli manualnej	156
Tabela 44. Skala ocen modelu <i>Kontrola OKB</i> na podstawie szacowania błędów (do walidacji)	157
Tabela 45. Walidacja modelu <i>Kontrola OKB</i>	157
Tabela 46. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu <i>Bagaż rejestrowany</i>	159
Tabela 47. Łączna ocena błędów typu A, popełnianych przez grupę OKB przy kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice	160
Tabela 48. Ocena wybranych konfiguracji systemu kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice	161
Tabela 49. Ocena systemu kontroli bagażu rejestrowanego w MPL Katowice-Pyrzowice	162
Tabela 50. Wyniki pomiarów wykorzystanych do określenia funkcji przynależności zmiennej wejściowej <i>Błędy typu A</i>	171
Tabela 51. Syntetyczne wyniki pomiarów częstości kontroli typu B (EPKT)	175
Tabela 52. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu <i>Kontrola manualna</i>	178
Tabela 53. Oszacowanie liczby błędów popełnianych przez OKB przy kontroli manualnej	179
Tabela 54. Skala ocen modelu <i>Kontrola manualna</i> na podstawie szacowania liczby bagażu bezpiecznych (do walidacji modelu)	181
Tabela 55. Walidacja modelu <i>Kontrola manualna</i>	181
Tabela 56. Rozmyte reguły wnioskowania dla lokalnego modelu <i>Bagaż podręczny</i>	183

Tabela 57. Wyniki oceny skuteczności kontroli manualnej (EPKT)	184
Tabela 58. Urządzenia rentgenowskie do kontroli bagażu podręcznego na lotnisku MPL Katowice-Pyrzowice	185
Tabela 59. Wyniki oceny skuteczności kontroli bagażu podręcznego (EPKT)	186
Tabela 60. Wpływ zmiany parametrów pracy na skuteczność kontroli w PKB-3	188
Tabela 61. Wpływ zmiany parametrów pracy na skuteczność kontroli bezpieczeństwa bagażu podręcznego	189
Tabela 62. Liczba kontroli manualnych B, przy której PKB osiąga najwyższą możliwą ocenę	191
Tabela 63. Podzielność uwagi wg Nideffera	198
Tabela 64. Zestawienie wyników testów przeprowadzonych z udziałem operatorów kontroli bezpieczeństwa	200
Tabela 65. Analiza poprawności wykonanych testów	202
Tabela 66. Wyniki oceny dostarczonej przez system HMC	203
Tabela 67. Wyniki testów osób nierealizujących zadań dot. kontroli bezpieczeństwa	206
Tabela 68. Przykładowe dane z wykonanych pomiarów	221
Tabela 69. Przykładowe dane z wykonanych pomiarów przepustowości	223
Tabela 70. Pomiar czasu kontroli bagażu podręcznego	224
Tabela 71. Ekspercka ocena przydatności narzędzia w procesie planowania kadrowego	228

Monografia stanowi ważną, aktualną i bardzo cenną pozycję dotyczącą oceny poziomu bezpieczeństwa i przepustowości na lotniskach cywilnych, przydatną dla innych naukowców badających te problemy, specjalistów z zakresu lotnictwa oraz studentów kierunków lotniczych. Ważną częścią pracy są praktyczne przykłady zastosowania opracowanych i przedstawianych oryginalnych metod oceny procesów i systemów w porcie lotniczym oraz związane z nimi wyniki badań własnych Autora.

Charakterystyka zintegrowanego systemu bezpieczeństwa nie może być bowiem określona wyłącznie na podstawie charakterystyki jego elementów. Wręcz przeciwnie, całość wpływa na formę i funkcjonowanie swoich części. Środki ochrony lotnictwa mogą mieć negatywny wpływ na przepustowość systemu i ułatwienia. Linie lotnicze i operatorzy portów lotniczych powinni więc zapewnić infrastrukturę pomocniczą wymaganą przez służby ochrony.

W przeszłości organy regulacyjne ds. ochrony lotnictwa przyjmowały reaktywne, „warstwowe” podejście do ochrony. Gdy pojawiał się nowy rodzaj ataku lub zagrożenia, organy regulacyjne reagowały, stosując dodatkowe środki. W ujęciu holistycznym obecny zestaw środków nie ma spójnego uzasadnienia.

W trakcie prowadzonych badań Autor przedstawił liczne wyniki naukowe i praktyczne. Wśród nich za najważniejsze należy uznać rozszerzenie obszaru zastosowania teorii zbiorów rozmytych w dziedzinie kontroli bezpieczeństwa na lotnisku oraz stworzenie narzędzi obliczeniowych pozwalających na ocenę efektywności wybranych elementów, struktur i procedur systemu kontroli bezpieczeństwa na lotnisku.



Akademia WSB
WSB University

Wydawnictwo Naukowe Akademii WSB
ul. Cieplaka 1c, 41-300 Dąbrowa Górnicza
www.wsb.edu.pl

