

## Rozdział 3

# Metoda oceny stanu załogi lotniczej jako element zarządzania w przedsiębiorstwie przewozu lotniczego

**Jacek Skorupski<sup>1</sup>, Marcin Wiktorowski<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

<sup>2</sup> Baza Lotnictwa Transportowego, Powidz

**Streszczenie.** Zapotrzebowanie na usługę transportową jest realizowane przez przedsiębiorstwo komercyjne – przewoźnika lotniczego. Ma on wiele zadań i priorytetów. Jednym z nich jest zarządzanie personelem latającym, który stanowi swoisty łącznik z systemem zarządzania ruchem. W tym rozdziale omówiono czynnik ludzki w zarządzaniu ruchem lotniczym i zadania przewoźników lotniczych w zakresie zarządzania zasobami ludzkimi. Następnie przedstawiono pokrótce rozmyty model stanu załogi w kontekście bezpieczeństwa ruchu lotniczego oraz metodę oceny stanu załogi – wybrane modele lokalne. Jako przykład zastosowania metody dokonano oceny treningu w aspekcie uzyskiwania wysokich kompetencji.

**Słowa kluczowe:** czynnik ludzki w transporcie lotniczym, bezpieczeństwo ruchu lotniczego, zarządzanie zasobami ludzkimi, wnioskowanie rozmyte

### 3.1. Czynnik ludzki w zarządzaniu ruchem lotniczym

W zarządzaniu ruchem lotniczym niezwykle istotną kwestią jest utrzymanie ciągłej zdolności podsystemu kontroli do oddziaływania na sterowany obiekt tak, aby osiągnąć zamierzone cele. Jest wiele czynników wpływających na skuteczność tego oddziaływania. Są to np. właściwe działanie systemu łącz-

---

Skorupski J., Wiktorowski M. [2014], *Metoda oceny stanu załogi lotniczej jako element zarządzania w przedsiębiorstwie przewozu lotniczego*, [w:] Skorupski J. (red.), *Współczesne problemy inżynierii ruchu lotniczego – modele i metody*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

ności ziemia-powietrze czy systemu lokalizacji statków powietrznych podlegających kontroli. Zarówno podsystem regulacyjny, jak i sterowany obiekt to systemy antropotechniczne z bardzo silnie zaznaczoną rolą czynnika ludzkiego. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na załogę statku powietrznego jako komponent ludzki obsługiwanego ruchu lotniczego. Zdolność załogi do wykonywania podstawowych zadań związanych z prowadzeniem statku powietrznego, ale także do współpracy z kontrolerem ruchu lotniczego jest jednym z podstawowych czynników decydujących o osiągnięciu najważniejszego celu zarządzania ruchem lotniczym – utrzymaniu właściwego poziomu bezpieczeństwa. Zdolność ta jest w dużym stopniu zależna od doboru załogi, a mówiąc szerzej – od sposobu zarządzania zasobami ludzkimi w przedsiębiorstwie przewozu lotniczego. W tym rozdziale przedstawiamy metodę pozwalającą na określenie stanu załogi, a w szczególności jej ważnego elementu jakim jest kompetencja.

Zagadnienia dotyczące roli czynnika ludzkiego dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego stanowią zainteresowanie badaczy z różnych dziedzin. W pracy [Afrazeh, Bartsch, 2007] opisano niezawodność człowieka jako zdolność do wykonania określonego zadania w określonych ramach, zawierających fizyczne i psychologiczne zdolności, doświadczenie, umiejętności i charakterystyki personalne. Z kolei w [Dekker, 2006] stwierdzono, iż wszelkie działania ludzi biorących udział w procesie transportowym w lotnictwie występują w specyficznym kontekście, na który składa się m.in. typ i wyposażenie samolotu, pogoda, właściwości ruchu lotniczego oraz inne czynniki kształtujące działanie człowieka (tzw. PSF, ang. *Performance Shaping Factors*). PSF to pojęcie wprowadzone w [Swain, Guttman, 1983] jako zbiór czynników wpływających na ludzkie możliwości. Podzielono je na wewnętrzne: stres, zmęczenie, wiedza, osobowość, doświadczenie oraz zewnętrzne: ergonomia pracy, programy szkoleniowe, struktura organizacyjna, motywacja czy procedury [Pei-Hui, 2011].

Zgodnie z systemowym podejściem do problemu bezpieczeństwa ruchu lotniczego umieszczamy tzw. czynnik ludzki w centrum zainteresowania, nie pomijając jednocześnie wpływu innych, mających pośredni bądź bezpośredni wpływ na ryzyko podejmowanych działań. Ukształtowały się dwa najpopularniejsze modele systemowe opisujące wpływ czynnika ludzkiego na bezpieczeństwo w ruchu lotniczym. Są to: model SHELL [Edwards, 1972; Hawkins, 1993] i model Reasona [1990]. Pierwszy opisuje zagrożenia na styku człowieka z otoczeniem, sprzętem, regulacjami i instrukcjami oraz z innymi ludźmi,

drugi natomiast przedstawia zależność pomiędzy różnymi obszarami działań, które mogą zawierać luki bezpieczeństwa.

Próbie analizy działań załogi i kontrolerów ruchu lotniczego przy wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych przedstawiono w [Lower i in., 2013]. Przeanalizowano tam prawdopodobieństwo przekształcenia się incydentu lotniczego w wypadek, przy pesymistycznym założeniu niekorzystnego działania czynnika ludzkiego.

Ogólnie analiza literatury pokazuje, że czynniki kształtujące stan załogi względem bezpieczeństwa ruchu lotniczego można podzielić na: fizyczne, fizjologiczne, psychologiczne oraz warunki zewnętrzne. Czynniki fizyczne można wyrazić w postaci zdrowia, wzrostu czy siły. Do fizjologicznych zaliczyć możemy: dostęp tlenu, zmiany ciśnienia, możliwości percepcji, zaburzenia orientacji, zmęczenie, zakłócenia snu, efekty diety czy alkoholu. Czynniki psychologiczne to: zarządzanie błędem, przetwarzanie i selekcja informacji, osobowość, samodyscyplina, motywacja, samozadowolenie, działanie pod presją, świadomość sytuacyjna, percepcja, świadomość bezpieczeństwa i identyfikacja zagrożeń, podejmowanie decyzji i ocena sytuacji, podział uwagi, stres (symptomy, sposób radzenia sobie ze stresem), komunikacja interpersonalna, przywództwo, możliwości adaptacyjne, trening, umiejętności i doświadczenie. Warunki zewnętrzne przejawiają się w postaci obciążenia, wymagań ze strony zadania oraz szeroko rozumianej kultury (zawodowej, organizacyjnej, bezpieczeństwa).

W omówionej powyżej literaturze daje się zauważyć brak efektywnych metod oceny stanu konkretnej załogi w kontekście możliwości bezpiecznego wykonania przez nią konkretnego lotu. Mając to na uwadze w pracy [Skorupski, Wiktorowski, 2013] zaproponowano model matematyczny oparty na wnioskowaniu rozmytym, w którym na wyjściu uzyskuje się ocenę liczbową stanu konkretnej załogi względem bezpieczeństwa w ruchu lotniczym. Ocena ta wyraża się wartością zmiennej lingwistycznej, a sposób jej uzyskania uwzględnia wszystkie niezbędne czynniki związane z merytorycznym przygotowaniem załogi do wykonania lotu: fizyczne, fizjologiczne i psychologiczne. Uwzględnia również wpływ otoczenia w postaci charakterystyki środowiska operacyjnego i organizacyjnego. Stworzony model może być podstawą do budowy systemu wspomagania decyzji dla osób odpowiedzialnych w praktyce za dobór załóg do wykonania lotów. W tym rozdziale zaprezentowane będą bardziej szczegółowo modele lokalne zmiennej lingwistycznej *Kompetencja*. Omówione zostaną także niektóre wyniki eksperymentów na modelu.

### 3.2. Zadania przewoźników lotniczych w zakresie zarządzania zasobami ludzkimi

Wprowadzenie przez Aneks 6 do Konwencji Chicagowskiej systemu zarządzania bezpieczeństwem w lotnictwie (SMS) spowodowało sytuację, w której przewoźnicy lotniczy zobowiązani są do zarządzania bezpieczeństwem w odniesieniu do całości ich działań, w tym także każdego pojedynczego lotu. Zgodnie z założeniami, SMS zajmuje się przede wszystkim identyfikacją zagrożeń, łagodzeniem skutków niepożądanych zdarzeń będących ich następstwem oraz oceną ryzyka. Wymienione cele mogą być wspomagane przez zaproponowany model stanu załogi w kontekście bezpieczeństwa. Daje on możliwość liczbowej oceny ryzyka związanego z powierzeniem lotu konkretnej wybranej załodze. W [Pei-Hui, 2011] opisano badania wybranych przewoźników w sferze funkcjonowania SMS. Stwierdzono, że postawione wymagania są realizowane tylko w części. Konieczne zatem są zmiany na poziomie operacyjnym. Na tym właśnie poziomie ma funkcjonować system oceny stanu załogi, który jest budowany na podstawie prezentowanego poniżej modelu. U przewoźników lotniczych funkcjonują obecnie karty szacowania ryzyka, które są jednak niewystarczające. Zastosowanie omawianego modelu pozwoliłoby rozszerzyć szacowanie ryzyka o szeroko rozumiany i całościowy wpływ czynnika ludzkiego (załogi) na bezpieczeństwo lotu, a tym samym uzyskać oszacowanie ryzyka planowanej operacji lotniczej. Ocena stanu załogi wykonana z wykorzystaniem prezentowanej metody pozwoli łatwiej planować i zarządzać zasobami ludzkimi i w rezultacie przyczyni się do utrzymania przez operatora gotowości operacyjnej pod względem dostępności załóg.

### 3.3. Rozmyty model stanu załogi w kontekście bezpieczeństwa ruchu lotniczego

Omawiany w tym rozdziale problem oceny stanu załogi w kontekście możliwości poprawnej realizacji zadania lotniczego dotyczy czynnika ludzkiego, który jest jednym z najtrudniej dających się opisać w kategoriach ścisłych. Lokuje to problem w dziedzinie analiz zjawisk, w których informacja jest nieprecyzyjna i niepewna. W tym opracowaniu przyjęto zatem podejście oparte na logice rozmytej.

Istnieje dość bogata literatura w zakresie wykorzystania metod i narzędzi teorii zbiorów rozmytych w zarządzaniu ruchem lotniczym. Wśród najciekawszych można wskazać pracę [Hadjimichael, 2009], w której opisano rozmyty system ekspertowy do wspomagania oceny ryzyka operacji startu i lądowania. Czynniki ludzki został tam uwzględniony, jednak w sposób dość uproszczony. Problem planowania dyżurów załóg lotniczych podjęto w [Teodorovic, Lucic, 1998]. Analizowano również psychologiczne aspekty zachowania pilotów, jako przykład można podać pracę [Wanyan i in., 2011]. Próbę oceny bezpieczeństwa lotniskowego z częściowym uwzględnieniem czynnika ludzkiego zawiera praca [Xianfeng, Shengguo, 2012]. Inne przykłady zastosowań metod rozmytych do praktycznych problemów zarządzania ruchem lotniczym można znaleźć w [Babic, Krstic, 2000] oraz [Netjasov, 2004]. W innych dziedzinach techniki analizowano np. ryzyko uszkodzeń kluczowych elementów systemów, ciekawy przykład stanowi praca [Torshizi, Parvisian, 2012], a także wpływ czynnika ludzkiego na niezawodność systemów [Bertolini, 2007].

W tym rozdziale koncentrujemy się na zbudowaniu hierarchicznej struktury rozmytej, uwzględniającej obszernie wszelkie czynniki mające wpływ na zdolność załogi (a nie pojedynczego pilota) na wykonanie zadania lotniczego. Uwzględniamy przy tym zarówno czynniki fizyczne, fizjologiczne, psychologiczne oraz szeroko rozumiane warunki zewnętrzne. Opracowany model, wraz z jego komputerową implementacją w systemie SciLab, może być traktowany jako system ekspertowy do wspomagania decyzji w zakresie doboru załogi do wykonania zadania lotniczego.

Przez zbiór rozmyty rozumiemy będziemy zbiór postaci [Kacprzyk, 1986]

$$A = \{(x, \mu_A(x)) : x \in X, \mu_A(x) \in [0, 1]\} \quad (3.1)$$

gdzie  $\mu_A$  jest funkcją charakterystyczną tego zbioru.

Zmienną lingwistyczną nazywamy zmienną, której wartościami są słowa lub zdania w języku naturalnym lub sztucznym. Powyższe słowa lub zdania nazywamy wartościami lingwistycznymi zmiennej lingwistycznej. W naszych modelach przyjmujemy wartości zmiennych lingwistycznych równe: *małe*, *średnie* i *duże*. Dla wartości *małe* trapezowa funkcja przynależności o parametrach  $(a, b, c, d)$  jest następująca:

$$\mu_{sm}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x < a = b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (3.2)$$

Dla wartości *średnie*:

$$\mu_{med}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (3.3)$$

Dla wartości *duże* funkcja przynależności dana jest wzorem:

$$\mu_{big}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ 0, & x > c = d \end{cases} \quad (3.4)$$

W zakresie procesu wnioskowania posługujemy się kolejno blokiem rozmywania wartości wejściowych, blokiem wnioskowania wykorzystującym bazę reguł oraz blokiem wyostrzania wartości wynikowych. Baza reguł tworzona z wykorzystaniem opinii ekspertów, w tym przypadku pilotów samolotów oraz osób odpowiedzialnych za organizację systemu zarządzania bezpieczeństwem (SMS) w instytucjach organizujących loty. Jako regułę wnioskowania dla modeli lokalnych stosować będziemy rozmytą regułę *modus ponens* postaci:

*Implikacja*:  $x = A \Rightarrow y = B$

*Przesłanka*:  $x = A'$

*Wniosek*:  $y = B'$

Reguła ta pozwala na wywnioskowanie o prawdziwości następnika na podstawie prawdziwości poprzednika, przy czym implikacja traktowana jest jako relacja rozmyta, co oznacza, że  $A'$  nie musi być równe  $A$  oraz że  $B'$  nie musi być równe  $B$ . Wystarczy, że  $A'$  jest podobne  $A$ , wówczas że  $B'$  jest podobne  $B$ .

W systemach wnioskowania rozmytego do wyznaczania wartości zmiennych lingwistycznych *Trening*, *Doświadczenie* i *CRM* przyjęto następujące parametry:

– *s*-normę typu maksimum:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.5)$$

– *t*-normę typu minimum:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (3.6)$$

– implikację typu iloczyn algebraiczny:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y) \quad (3.7)$$

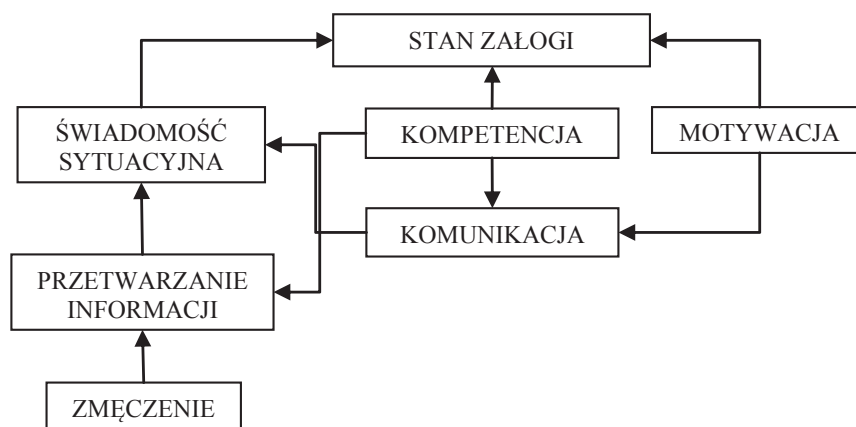
– agregację reguł typu suma algebraiczna:

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad (3.8)$$

– defuzyfikację typu środek ciężkości:

$$z^* = \frac{\int \mu_B(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_B(z) \, dz} \quad (3.9)$$

Spośród różnych, wymienianych w literaturze czynników wpływających na działania człowieka, do analizy wybrano te, które mają największy wpływ na zdolność do bezpiecznego wykonania zadania przez załogę statku powietrznego. Można wydzielić trzy podstawowe czynniki składające się na opis stanu załogi. Są to: kompetencja (odzwierciedlająca przede wszystkim wiedzę, doświadczenie i umiejętności), świadomość sytuacyjna (determinowana przede wszystkim przez jakość komunikacji i przetwarzanie informacji) oraz motywacja jako psychologiczna strona możliwości (odzwierciedlająca różnicę pomiędzy tym, co dana osoba faktycznie robi, a tym, jakie ma możliwości). Ogólny schemat zależności pomiędzy tymi czynnikami został przedstawiony na rysunku 3.1.



**Rysunek 3.1.** Schemat modelu rozmytego głównych czynników wpływających na stan załogi

Świadomość sytuacyjna, a w zasadzie jej brak, jest jedną z istotniejszych przyczyn zdarzeń lotniczych. Jest ona zależna od jakości przetwarzania informacji oraz komunikacji. Ta ostatnia zależy zarówno od kompetencji, jak i motywacji, które także bezpośrednio wpływają na stan załogi. Z kolei przetwarzanie informacji jest zależne od kompetencji i zmęczenia. Jak widać, zależności te są dość skomplikowane i wzajemnie uwikłane. Powoduje to trud-

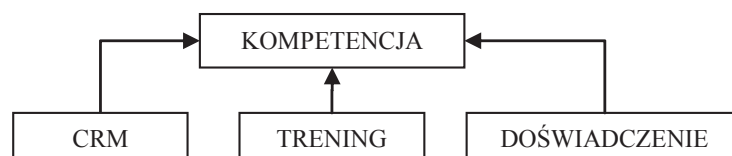
ności w ich badaniu i skłania nas do wykorzystania ocen eksperckich, które z natury rzeczy są subiektywne i nieprecyzyjne. Stąd propozycja wykorzystania teorii zbiorów rozmytych w analizie [Zadeh, Kacprzyk, 1992].

Przedstawiony na rysunku 3.1 schemat zależności wpływających na stan załogi determinuje strukturę rozpatrywanych modeli lokalnych. Każdy z czworokątów symbolizuje zmienną lingwistyczną będącą wyjściem pewnego lokalnego modelu rozmytego o wielu wejściach. W podrozdziale 3.4 przedstawiono przykładowo modele lokalne do wyznaczania wartości zmiennej lingwistycznej *Kompetencja*.

### 3.4. Metoda oceny stanu załogi – model lokalny *Kompetencja*

W tym podrozdziale skupiamy się na modelu lokalnym przeznaczonym do oceny zmiennej lingwistycznej *Kompetencja*. Rysunek 3.1 wskazuje, że jest to zmienna kluczowa dla oceny stanu załogi. Wpływa bowiem bezpośrednio na zmienną lingwistyczną *Stan załogi*, ale także wpływa na nią pośrednio, jako jedna ze zmiennych wejściowych w modelach oceny *Komunikacji* oraz *Świadomości sytuacyjnej*. Analiza przyczyn i przebiegu zdarzeń lotniczych wskazuje, że te dwa ostatnie elementy są nadzwyczaj częstymi przyczynami bezpośrednimi lub też należą do okoliczności sprzyjających wypadkom i incydentom lotniczym.

Zmienna lingwistyczna *Kompetencja* jest determinowana przez trzy zmienne wejściowe (rysunek 3.2): *Trening*, *Doświadczenie* i *CRM* (*Crew Resources Management* – rozumiana jako zdolność załogi do współdziałania). Przyjmujemy, że zmienna *Kompetencja* będzie przyjmowała wartości: *niska*, *średnia* bądź *wysoka*.



**Rysunek 3.2.** Schemat modelu lokalnego wyznaczania zmiennej lingwistycznej *Kompetencja*

Wpływ poszczególnych zmiennych wejściowych na wartość wyjściową zmiennej *Kompetencja* jest różny. Przyjmujemy, że najwyższą wagę dla kompetencji załogi ma doświadczenie, które szeroko charakteryzuje możliwości



członka załogi w odniesieniu do jego pracy zarówno na aktualnym typie samolotu jak i na innych statkach powietrznych. Zmienna *Trening* oraz *CRM* wnoszą do zmiennej *Kompetencja* m.in. informacje dotyczące przerw w wykonywaniu lotów czy odbywaniu niezbędnych szkoleń. Są one szczególnie ważne w przypadku młodych pilotów. W przypadku bardziej doświadczonych, szkolenia i kontrole mają duże znaczenie przede wszystkim pod względem przeciwdziałania rutynie i często błędnemu przeświadczeniu o swoich najwyższych umiejętnościach.

W tabeli 3.1 przedstawiono kilka z użytych rozmytych reguł wnioskowania określających zmienną *Kompetencja*.

**Tabela 3.1.** Przykładowe rozmyte reguły wnioskowania dla zmiennej *Kompetencja*

<b>Reguła</b>	<b><i>CRM</i></b>	<b><i>Trening</i></b>	<b><i>Doświadczenie</i></b>	<b><i>Kompetencja</i></b>
10	<i>średnia</i>	<i>niski</i>	<i>małe</i>	<i>niska</i>
13	<i>średnia</i>	<i>średni</i>	<i>małe</i>	<i>niska</i>
14	<i>średnia</i>	<i>średni</i>	<i>średnie</i>	<i>średnia</i>
17	<i>średnie</i>	<i>wysoki</i>	<i>średnie</i>	<i>średnia</i>
18	<i>średnie</i>	<i>wysoki</i>	<i>duże</i>	<i>wysoka</i>
24	<i>wysoka</i>	<i>średni</i>	<i>duże</i>	<i>wysoka</i>

### 3.5. Przykład zastosowania metody – ocena treningu w aspekcie uzyskiwania wysokich kompetencji

Zmienna lingwistyczna *Trening* charakteryzuje członka załogi w zakresie tzw. aktualności w wykonywaniu zadań lotniczych. Można ją opisać wartościami rozmytymi: *wysoki*, *średni*, *niski*. Do jej określenia można wykorzystać na przykład czas od wykonania ostatniego lotu. W odniesieniu do umiejętności radzenia sobie w sytuacjach awaryjnych, wartościowym wskaźnikiem jest czas (w miesiącach), jaki upłynął od obowiązkowego ćwiczenia (sprawdzenia) na symulatorze lotu. Każdy pilot podlega również okresowemu (zazwyczaj raz w roku) sprawdzeniu swojej wiedzy i umiejętności lotniczych podczas kontroli w locie (tzw. *checkride*), gdzie również jest zobowiązany do przygotowania się i zdania takiego egzaminu przed doświadczonym pilotem posiadającym uprawnienia instruktorskie. Jako odświeżenie i weryfikacja po-

siadanych umiejętności taki egzamin również pozytywnie wpływa na zachowanie się pilota w czasie rutynowego lotu, zatem do określenia zmiennej *Trening* można także przyjąć czas, jaki upłynął od ostatniego egzaminu w locie.

Zgodnie z EU-OPS operator lotniczy odpowiada za wdrożenie odpowiednich procedur gwarantujących, iż załogi operujące w ramach danej organizacji będą posiadały odpowiednie licencje, uprawnienia i szkolenia oraz będą odpowiednio doświadczone i aktualne w wykonywaniu lotów [European Commission, 2008]. Generalnie pilot, który ma być dopuszczony do wykonywania zadań lotniczych przez operatora, powinien przejść ocenę dla klasy samolotu (ang. *class rating*) i typu samolotu (ang. *type rating*). W przypadku zmiany operatora, typu lub klasy, pilot powinien przejść odpowiednie kursy, zanim rozpocznie loty bez nadzoru. Młodzi piloci po zdaniu odpowiednich testów, w ciągu 21 dni powinni wykonać co najmniej 4 loty z nadzorem instruktora oraz 6 startów i lądowań na odpowiednim symulatorze, przy czym liczba tych operacji może być w pewnych warunkach zmniejszona. Kapitan musi posiadać odpowiednie doświadczenie i w przypadku operacji w załodze wieloosobowej (ang. *multi crew operations*) musi odbyć tzw. kurs dowódcy załogi, na który składają się:

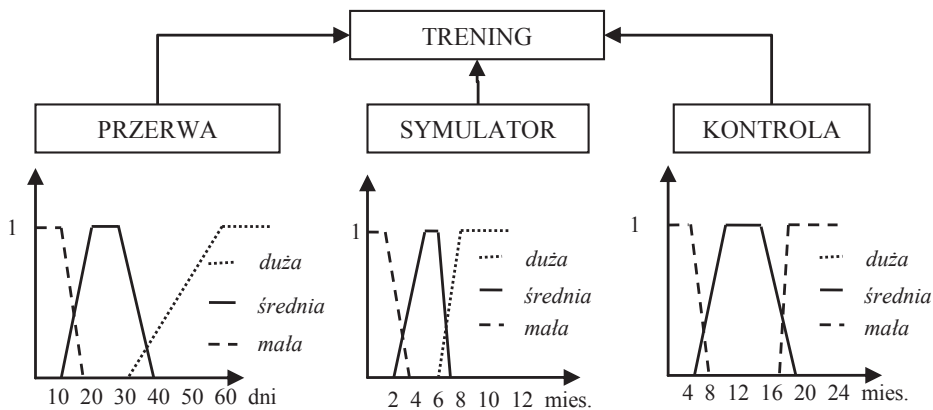
- szkolenie na symulatorze,
- sprawdzenie umiejętności w charakterze kapitana,
- trening liniowy w charakterze kapitana,
- trening kompetencji trasowej i lotniskowej,
- szkolenie w zakresie współdziałania w załodze CRM.

Piloci nie mogą też przekraczać dopuszczalnych przerw w lotach. Generalną regułą jest wymóg wykonania minimum 3 startów i lądowań w ciągu 90 dni, czas ten może być wydłużony do 120 dni w przypadku wykonywania lotu pod nadzorem. Powyżej 120 dni wymaga się dodatkowego treningu w locie lub na symulatorze [European Commission, 2008]. Odpowiednie władze mogą zmieniać wymienione wyżej czasy i wymagania, jednak nie wcześniej niż po 2 latach ciągłego wykonywania operacji lotniczych przez pilota. Stosuje się wówczas alternatywny program szkolenia ATQP (ang. *alternative training and qualification programme*) oraz ocenę pilota LOE (ang. *line oriented evaluation*), zgodnie z którymi odstępstwa między kontrolami standardowymi wydłuża się do 12 miesięcy, zaś kontrole w zakresie sytuacji niebezpiecznych do 24 miesięcy.

Zgodnie z wcześniej przyjętymi założeniami oraz mając na względzie przepisy dotyczące aktualności pilotów, jako zmienne wejściowe dla zmiennej lingwistycznej *Trening* rozpatrywać będziemy:

- przerwę od wykonania ostatniego lotu: zmienna *Przerwa*, przyjmująca wartości rozmyte *mała*, *średnia*, *duża*, określona na przestrzeni rozważań w postaci zbioru liczb rzeczywistych z zakresu [0,90] dni,
- przerwę od szkolenia (sprawdzenia) na symulatorze: zmienna *Symulator*, przyjmująca wartości *mała*, *średnia*, *duża*, określona na przestrzeni rozważań w postaci zbioru liczb rzeczywistych z zakresu [0,12] miesięcy,
- przerwę od ostatniej kontroli w locie: zmienna *Kontrola*, przyjmująca wartości *mała*, *średnia*, *duża*, określona na przestrzeni rozważań w postaci zbioru liczb rzeczywistych z zakresu [0,24] miesięcy.

Przykładowy schemat modelu do wyznaczania zmiennej lingwistycznej *Trening* wraz z proponowanymi wartościami rozmytych zmiennych wejściowych *Przerwa*, *Symulator* oraz *Kontrola* przedstawia rysunek 3.3, parametry trapezowych funkcji przynależności wartości zmiennych wejściowych podano w tabeli 3.2, zaś parametry trapezowych funkcji przynależności wartości wyjściowych zmiennej lingwistycznej *Trening* przedstawiono w tabeli 3.3.



**Rysunek 3.3.** Schemat lokalnego modelu rozmytego wyznaczania zmiennej lingwistycznej *Trening*.

**Tabela 3.2.** Parametry ( $a, b, c, d$ ) trapezowych funkcji przynależności dla modelu *Trening*

<i>Przerwa</i>					<i>Symulator</i>					<i>Kontrola</i>				
	$a$	$b$	$c$	$d$		$a$	$b$	$c$	$d$		$a$	$b$	$c$	$d$
<i>mała</i>	0	0	10	20	<i>mała</i>	0	0	2	4	<i>mała</i>	0	0	4	8
<i>średnia</i>	10	20	30	40	<i>średnia</i>	3	6	7	8	<i>średnia</i>	6	12	16	20
<i>duża</i>	30	60	90	90	<i>duża</i>	7	9	12	12	<i>duża</i>	18	20	24	24

W przypadku aktualności pilota w wykonywaniu lotów operacyjnych zbadano wpływ jaki ma każdy z wymienionych powyżej czynników. Przy konstruowaniu reguł wnioskowania rozmytego uwzględniono ważność poszczególnych czynników.

**Tabela 3.3.** Parametry ( $a, b, c, d$ ) trapezowych funkcji przynależności wartości wyjściowych zmiennej lingwistycznej *Trening*

<i>Trening</i>				
	$a$	$b$	$c$	$d$
<i>niski</i>	0	0	1	2
<i>średni</i>	1	2	3	4
<i>wysoki</i>	3	4	5	5

Przyjęto, że najważniejsza jest przerwa od wykonywania lotów. Aby pilot mógł w pełni polegać na swoich umiejętnościach, musi pielęgnować wyuczone nawyki, gdyż z czasem, proporcjonalnym do przerwy od wykonywania ostatnich lotów sukcesywnie je traci. Przerwy od szkoleń czy sprawdzeń również będą wpływać na wyjściowy poziom zmiennej *Trening*, jednak w odpowiednio mniejszym stopniu. Znalazło to odzwierciedlenie w wagach poszczególnych reguł wnioskowania. Niektóre z wykorzystanych reguł wnioskowania rozmytego przedstawiono w tabeli 3.4.

**Tabela 3.4.** Przykładowe reguły bloku wnioskowania rozmytego dla zmiennej *Trening*

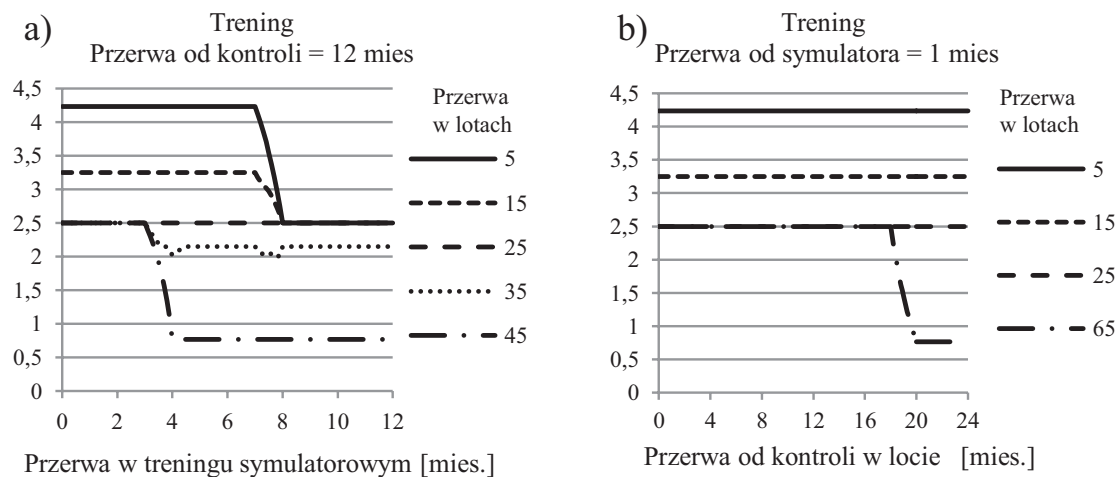
<b>Reguła</b>	<b><i>Przerwa</i></b>	<b><i>Symulator</i></b>	<b><i>Kontrola</i></b>	<b><i>Trening</i></b>
4	<i>mała</i>	<i>średnia</i>	<i>mała</i>	<i>wysoki</i>
6	<i>mała</i>	<i>średnia</i>	<i>duża</i>	<i>wysoki</i>
7	<i>mała</i>	<i>duża</i>	<i>mała</i>	<i>średni</i>
17	<i>średnia</i>	<i>duża</i>	<i>średnia</i>	<i>średni</i>
21	<i>duża</i>	<i>mała</i>	<i>duża</i>	<i>niski</i>
25	<i>duża</i>	<i>duża</i>	<i>mała</i>	<i>niski</i>

### 3.6. Dyskusja uzyskanych wyników

Przykładowe wyniki symulacji systemu wnioskowania rozmytego do oceny zmiennej lingwistycznej *Trening*, uzyskane z wykorzystaniem pakietu SciLab 5.4 przedstawia rysunek 3.4.

W przypadku zależności *Treningu* od zmiennej *Symulator* (rysunek 3.4a) widać, że w przypadku pilotów z niewielką przerwą w lotach (do około 20 dni) szkolenie symulatorowe może odbywać się rzadziej, co około 6–7 miesięcy. Częstsze szkolenia nie powodują zwiększenia wartości zmiennej *Trening*. Na-

tomiast u pilotów z większą przerwą w lotach (rzędu 40 i więcej dni) szkolenie to powinno być przeprowadzane znacznie częściej, bo po ok. 3 miesiącach. W przypadku dłuższej przerwy występuje spadek poziomu zmiennej *Trening*. Obserwacje te pokrywają się w zasadzie z podejściem intuicyjnym, jednocześnie dając oceny ilościowe. Wynik tego eksperymentu symulacyjnego stanowi element procesu walidacji modelu.



**Rysunek 3.4.** Zależność zmiennej *Trening* od: a) przerwy w treningu symulatorowym, b) odległości czasowej od ostatniej kontroli w locie

Analiza zależności zmiennej *Trening* od czasu od ostatniej kontroli w locie daje (przy przyjętych założeniach) rezultaty nieco zaskakujące. Wyniki eksperymentów symulacyjnych pokazują, że zmienna *Kontrola* w zasadzie praktycznie nie ma wpływu na wartość zmiennej *Trening*. Dotyczy to wszystkich przypadków kiedy przerwa od szkolenia symulatorowego jest większa od 1,5 miesiąca i dowolnej wielkości przerwy w lotach. Jedyny przypadek (przedstawiony na rysunku 3.4b) kiedy zmienna *Kontrola* ma pewne znaczenie zachodzi wówczas, gdy pilot ma bardzo długą przerwę w lotach, rzędu 60 dni lub więcej i jest krótko po szkoleniu symulatorowym – do 1 miesiąca. Wtedy ma sens zrobienie kontroli w locie, ale tylko w przypadku kiedy od poprzedniej minęło więcej niż 18 miesięcy. Jest to dość ciekawa obserwacja, gdyż pokazuje, że wymagana przepisami kontrola w locie co 6 czy 12 miesięcy nie zwiększa wartości parametru *Trening*, a zatem w większości przypadków można z tej kontroli zrezygnować. A jeżeli ze względów bezpieczeństwa podjęta zostanie decyzja, aby ją utrzymać, to jej częstotliwość nie powinna być większa niż około 16–17 miesięcy. Konieczna jest jednak dalsza weryfikacja zarówno modelu, systemu, jak i otrzymanych wyników.

### 3.7. Podsumowanie

Jednym z najważniejszych czynników decydujących o bezpieczeństwie przewoźnika lotniczego jest właściwe zarządzanie zasobami ludzkimi przewoźnika. Elementem tego procesu jest odpowiedni dobór załogi lotniczej – dysponującej odpowiednimi kompetencjami, motywacją, zdolnościami komunikacyjnymi czy świadomością sytuacyjną. Elementy te nie są stałe i zależą od wielu czynników, w tym od chwilowych predyspozycji członków załóg. Dobór załóg i ocena ich stanu w kontekście bezpieczeństwa jest niezwykle trudna, gdyż mamy do czynienia z informacją niekompletną, nieprecyzyjną i niepewną. W takiej sytuacji nieocenioną pomoc mogą stanowić systemy eksperckie oparte na teorii zbiorów rozmytych. Przedstawiony fragment systemu wnioskowania rozmytego potwierdza możliwość wykorzystania tego rodzaju narzędzi we wspomaganie przewoźnika, a tym samym wzmocnieniu niezawodności bardzo istotnego ogniwa w łańcuchu działań mających zapewnić bezpieczeństwo ruchu lotniczego jakim jest załoga lotnicza.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Afrazeah A., Bartsch H. [2007], *Human reliability and flight safety*, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 14 (5), 501-516.
2. Babic O., Krstic T. [2000], *Airspace daily operational sectorization by fuzzy logic*, Fuzzy Sets and Systems, 116, 49-64.
3. Bertolini M. [2007], *Assessment of human reliability factors: A fuzzy cognitive maps approach*, International Journal of Industrial Ergonomics, 37 (5), 405-413.
4. Dekker S. [2006], *The field guide to understanding human error*, Ashgate Publishing Ltd, Hampshire.
5. Edwards E. [1972], *Man and Machine: systems for safety*, [w:] *Proceedings of British Airline Pilots Association Technical Symposium*, British Airline Pilots Association, London.
6. European Commission [2008], Commission regulation (EC) No 859/2008 of 20 August 2008 amending Council Regulation (EEC) No 3922/91 as regards common technical requirements and administrative procedures applicable to commercial transportation by aeroplane, Official Journal of the European Union L 254/1.

7. Hadjimichael M. [2009], *A fuzzy expert system for aviation risk assessment*, Expert Systems with Applications, 36, 6512-6519.
8. Hawkins F., Orlady H. [1993], *Human factors in flight*, Ashgate Publishing Ltd, Farnham.
9. Kacprzyk J. [1986], *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*, PWN, Warszawa.
10. Lower M., Magott J., Skorupski J. [2013], *Air Traffic Incidents Analysis with the Use of Fuzzy Sets*, [w:] L. Rutkowski i in. (red.): *ICAISC 2013, Part I*, Lecture Notes in Artificial Intelligence LNAI 7894, 306-317, Springer, Heidelberg.
11. Netjasov F. [2004], *Fuzzy expert model for determination of runway in use case study: Airport Zurich*, [w:] *Proceedings of the 1st International Conference on Research in Air Transportation ICRAT 2004*, Zilina, Slovakia, 59-64.
12. Pei-Hui L. [2011], *Safety Management and Risk Modelling in Aviation: The challenge of quantifying management influences*, Delft University of Technology, PhD thesis, <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3A3b293559-81ed-4450-aa78-005bbd9054f1/>, dostęp: 01.04.2013.
13. Reason J. [1990], *Human Error*, Cambridge University Press, Cambridge.
14. Skorupski J., Wiktorowski M. [2013], *Problem oceny stanu załogi w kontekście bezpieczeństwa ruchu lotniczego*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – seria: Transport, 96, 401-411.
15. Swain A., Guttman H. [1983], *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, NUREG/CR-1278, Rev. 1, Sandia National Laboratories, Albuquerque.
16. Teodorovic D., Lucic P. [1998], *A fuzzy set theory approach to the aircrew rostering problem*, Fuzzy Sets and Systems, 95(3), 261–271.
17. Torshizi A., Parvizian J. [2012], *A Hybrid Approach to Failure Analysis Using Stochastic Petri Nets and Ranking Generalized Fuzzy Numbers*, Advances in Fuzzy Systems, 3, doi:10.1155/2012/957697
18. Wanyan X., Zhuang D., Wei H., Song J. [2011], *Pilot attention allocation model based on fuzzy theory*, Computers & Mathematics with Applications, 62(7), 2727–2735.
19. Xianfeng L., Shengguo H. [2012], *Airport Safety Risk Evaluation Based on Modification of Quantitative Safety Management Model*. *International Symposium on Safety Science and Engineering in China*, Procedia Engineering, 43, 238–244.
20. Zadeh L., Kacprzyk J. [1992], *Fuzzy logic for the management of uncertainty*, John Wiley & Sons, Hoboken NJ.