

Jacek Skorupski

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

Marcin Wiktorowski

33 Baza Lotnictwa Transportowego, Powidz

PROBLEM OCENY STANU ZAŁOGI W KONTEKŚCIE BEZPIECZEŃSTWA RUCHU LOTNICZEGO

Rękopis dostarczono, kwiecień 2013

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodę oceny stanu załogi statku powietrznego (sp) w kontekście bezpieczeństwa ruchu lotniczego. Zdefiniowano pojęcie stanu załogi, wskazano na kluczową rolę czynnika ludzkiego, w tym załogi sp, w bezpiecznej realizacji zadań transportowych oraz przedstawiono czynniki kształtujące stan załogi. W pracy sformułowano problem badawczy polegający na opracowaniu modelu matematycznego, który pozwala opisać w formie ilościowej stan załogi na podstawie wybranych czynników. Model ten bierze pod uwagę stan załogi jako czynnik kształtujący bezpieczeństwo ruchu lotniczego. Do opisu zależności między czynnikami zaproponowano wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych. Wskazano możliwości praktycznego wykorzystania proponowanej metody, głównie do stworzenia systemu oceny ryzyka związanego z powierzeniem wykonania zadania lotniczego konkretnej wybranej załodze.

Słowa kluczowe: czynnik ludzki w transporcie lotniczym, bezpieczeństwo ruchu lotniczego, wnioskowanie rozmyte

1. WPROWADZENIE

Bezpieczeństwo ruchu lotniczego może być pojmowane jako stan, w którym brak jest zagrożeń, nie wystąpiły wypadki czy incydenty. Niestety pełna eliminacja takich zdarzeń jest niemożliwa w dynamicznie zmieniającym się ruchu lotniczym. Niepożądane skutki zagrożeń występujących w tym środowisku są nieuniknione i rolą systemu zapewniania bezpieczeństwa jest ograniczanie ryzyka zdarzeń lotniczych do pewnego założonego, dopuszczalnego poziomu [18]. Na potrzeby tej pracy przyjmujemy definicję, że bezpieczeństwo to stan, w którym organizacja realizuje założone cele z jednoczesnym utrzymywaniem ryzyka na określonym poziomie [11].

Do lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku główną przyczyną większości wypadków w ruchu lotniczym był czynnik techniczny i złe warunki atmosferyczne [9]. Błędy technologiczne były powtarzającym się czynnikiem naruszeń stanu bezpieczeństwa [18]. Związane było to z niedostateczną wiedzą i doświadczeniem w dziedzinie konstrukcji i wyposażenia statków powietrznych, ograniczoną infrastrukturą lotniskową czy niskim zaawansowaniem systemów wspomagających kontrolę ruchu lotniczego [10]. W latach 70-tych transport lotniczy odnotował wysoki skok technologiczny, wprowadzono do powszechnego użytku silniki odrzutowe, radary, autopiloty, usprawniono łączność i nawigację. W ten sposób czynnik techniczny zszedł na plan drugi, a wiodącym problemem stał się tzw. czynnik ludzki [18]. W latach 90-tych ubiegłego wieku podejście do analizy bezpieczeństwa uległo ewolucji w kierunku ujęcia systemowego. Zdano sobie bowiem sprawę, że człowiek nie działa w próżni, ale ulega wpływom środowiska, otoczenia, w którym funkcjonuje [11]. Zatem czynniki kształtujące poziom bezpieczeństwa będą wyrażały się poprzez szeroko rozumiany czynnik ludzki (załogi, obsługa techniczna, lotniskowa, kontrolerzy ruchu lotniczego), czynnik techniczny (wszelkiego rodzaju sprzęt związany z wykonywaniem i obsługą ruchu lotniczego) i środowiskowy (czyli otoczenie systemu zarówno fizyczne jak i нефizyczne).

Celem prowadzonych badań jest opracowanie wskaźników ilościowej oceny stanu załogi w kontekście jego wpływu na bezpieczeństwo ruchu lotniczego. Pojęcie stanu załogi jest zazwyczaj używane w sposób intuicyjny. Jego zwymiarowanie wymaga definicji o charakterze formalnym. Zagadnienia te zostały omówione w punkcie 2. Stworzenie wskaźników oceny stanu załogi wymaga poszukiwania zależności o charakterze funkcyjnym pomiędzy różnymi czynnikami wpływającymi na stan załogi. Zależności te są trudno definiowalne i częściowo subiektywne, a badania ich dotyczące należą do obszaru analiz informacji niepewnej. Do tych analiz wykorzystano metody wnioskowania rozmytego. W punkcie 3 przedstawiono schemat odpowiedniego modelu. Ze względu na liczne czynniki wpływające na stan załogi oraz charakter powiązań między nimi, konieczna jest dekompozycja tego modelu na modele cząstkowe (lokalne). Zadanie to wymaga skomplikowanych badań z wykorzystaniem wiedzy eksperckiej, zostaną one wykonane w dalszych etapach pracy. Sposób dokonania dekompozycji oraz przykłady rozmytych modeli lokalnych, a szczególnie modelu do wyznaczania wartości zmiennej lingwistycznej opisującej doświadczenie zostały przedstawione w punkcie 3.

2. POJĘCIE STANU ZAŁOGI

Zagadnienia dotyczące roli czynnika ludzkiego dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego stanowią zainteresowanie badaczy z różnych dziedzin. W pracy [2] opisano niezawodność człowieka jako kompetencje do wykonania określonego zadania w określonych ramach, zawierające fizyczne i psychologiczne zdolności, odpowiednie doświadczenie, umiejętności i charakterystyki personalne. Z kolei w [5] 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 [16] jako zbiór czynników wpływających na ludzkie możliwości. Podzielono je na wewnętrzne, takie jak stres, zmęczenie, wiedza, osobowość, doświadczenie czy usposobienie oraz zewnętrzne, takie jak ergonomia pracy, programy szkoleniowe, struktura organizacyjna, motywacja czy procedury [13].

W niniejszym opracowaniu stan załogi będzie zdefiniowany w postaci wyrażen rozmytych, jako poziom ryzyka wykonania operacji lotniczej przez załogę (pilotów) obliczony na podstawie całościowej analizy czynników (fizycznych, fizjologicznych, psychologicznych i zewnętrznych) na nią wpływających.

Czynniki wpływające na stan załogi odzwierciedlają ludzkie możliwości i ograniczenia w aspekcie wykonania określonego zadania, przy założonym poziomie bezpieczeństwa w określonych ramach, zawierające fizyczne i psychologiczne zdolności, odpowiednie doświadczenie, umiejętności i charakterystyki personalne. Taka definicja nie uwzględnia jednak wpływu warunków zewnętrznych na ludzkie możliwości [2].

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 (pierwszy raz opublikowany przez Edwardsa w 1972 r. [6], następnie zmodyfikowany przez Hawkinsa [8]) i model Reasona [14]. 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.

Wykorzystując model SHELL, można w całościowy sposób opisać stan czynnika ludzkiego (tutaj – załogi) nie pomijając jednocześnie ważnych wpływów otoczenia [3, 4]. Uwzględnia się w nim interakcje pomiędzy:

- czynnikiem ludzkim (ang. *liveware* - L),
- wszelkimi regulacjami, przepisami, checklistami, procedurami (ang. *software* - S),
- wyposażeniem, sprzętem, maszynami (ang. *hardware* - H),
- środowiskiem czy otoczeniem, w którym zachodzi proces (ang. *environment* - E).

Poza systemowymi opisami zestawów czynników wpływających na bezpieczeństwo w ruchu lotniczym, w literaturze można napotkać próby stworzenia narzędzi matematycznych wspomagających systemy zapewniania bezpieczeństwa w transporcie lotniczym. W [1] opisano system CATS służący do kompleksowego modelowania całego systemu lotnictwa i kontrolowania w sposób ilościowy poziomu ryzyka. Model ten zaadaptował struktury opracowane wcześniej w systemach takich jak I-Risk, Aramis, WORM. Założonym celem modelu było obliczenie prawdopodobieństwa wystąpienia błędu i określenie wpływu poszczególnych czynników.

W [15] przedstawiono model opisujący załogę za pomocą schematów sekwencji zdarzeń (ang. *event sequence diagrams* - ESD), drzew błędów (ang. *fault trees*) i sieci bayesowskich (ang. *Bayesian Belief Nets* - BBN). Wybrane czynniki są reprezentowane bądź to przez dane liczbowe bądź za pomocą ocen ekspertów. Model został opracowany w celu praktycznego wykorzystania we wspomnianym wyżej szerokim modelu CATS.

Próbę analizy działań załogi i kontrolerów ruchu lotniczego przy wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych przedstawiono w [12]. Przeanalizowano tam prawdopodobieństwo

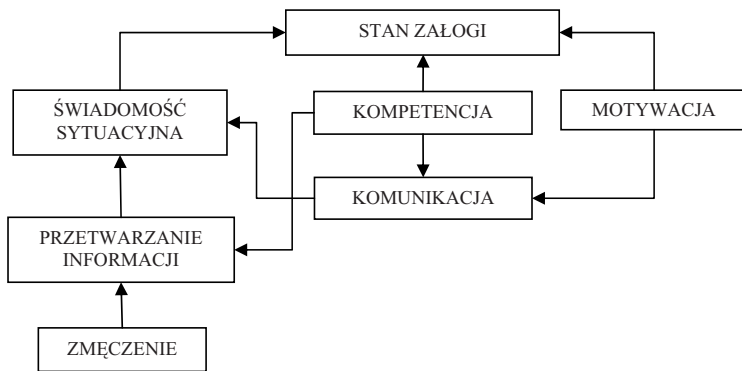
przekształcenia się incydentu lotniczego w wypadek, przy pesymistycznym założeniu niekorzystnego działania czynnika ludzkiego.

Ogólnie analiza literatury pokazuje, że czynniki kształtujące stan załogi względem bezpieczeństwa ruchu lotniczego można podzielić na: fizyczne, fizjologiczne, psychologiczne oraz warunki zewnętrzne. Fizyczne czynniki można wyrazić w postaci zdrowia, wzrostu, siły czy płci. Do fizjologicznych zaliczyć można: dostęp tlenu, efekty zmiany ciśnienia, ograniczenia zmysłów, możliwości percepcji, zaburzenia orientacji, zmęczenie organizmu, zakłócenia snu, zakłócenia rytmu biologicznego, efekty diety, lekarstw czy alkoholu, ciąża. Czynniki psychologiczne to: zarządzanie błędem, przetwarzanie i selekcja informacji, osobowość i usposobienie, samodyscyplina, motywacja, samozadowolenie, działanie pod presją, świadomość sytuacyjna, percepcja, świadomość bezpieczeństwa i identyfikacja zagrożeń, podejmowanie decyzji i ocena sytuacji, podział uwagi, stres (symptomy, efekty, sposób radzenia sobie ze stresem), komunikacja interpersonalna, przywództwo, możliwości adaptacyjne, trening, umiejętności i doświadczenie. Warunki zewnętrzne przejawiają się w postaci obciążenia i wymagania zadania oraz szeroko rozumianej kultury (zawodowa, organizacyjna, 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 proponujemy model matematyczny oparty o teorię wnioskowania rozmytego, w którym na wyjściu uzyskuje się ocenę liczbową stanu konkretnej załogi względem bezpieczeństwa w ruchu lotniczym. Ocena ta będzie wyrażona wartością zmiennej lingwistycznej, a sposób jej uzyskania będzie uwzględniał wszystkie niezbędne czynniki związane z merytorycznym przygotowaniem załogi do wykonania lotu: fizyczne, fizjologiczne i psychologiczne. Będzie również uwzględniał wpływ otoczenia w postaci charakterystyki środowiska operacyjnego i organizacyjnego. Stworzony model będzie podstawą do budowy systemu wspomaganie decyzji dla osób odpowiedzialnych w praktyce za dobór załóg do wykonania lotów.

3. MODEL STANU ZAŁOGI JAKO CZYNNIKA KSZTAŁTUJĄCEGO BEZPIECZEŃSTWO RUCHU LOTNICZEGO

Pośród 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). Czynniki te zostaną poddane analizie w ramach niniejszej pracy. Ogólny schemat zależności pomiędzy tymi czynnikami został przedstawiony na rys. 1.



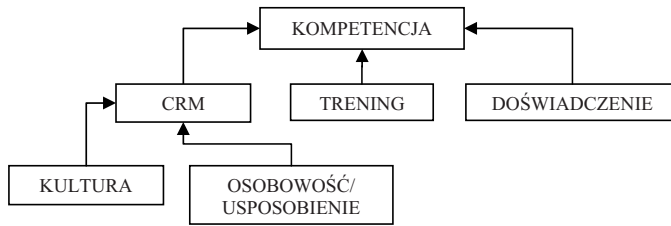
Rys. 1. Schemat modelu rozmytego głównych czynników wpływających na stan załogi

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 trudności 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 [19].

Przedstawiony na rys. 1 schemat zależności wpływających na stan załogi determinuje strukturę modeli lokalnych, rozpatrywanych w ramach pracy. Każdy z prostokątów symbolizuje zmienną lingwistyczną będącą wyjściem pewnego lokalnego modelu rozmytego o wielu wejściach. W kolejnych sekcjach zostały przedstawione przykładowo modele lokalne do wyznaczania wartości zmiennych lingwistycznych *Kompetencja*, *Motywacja*, *Świadomość sytuacyjna*. Modele te w niektórych przypadkach pozwalają na opis ilościowy o charakterze funkcyjnym, zaś w większości przypadków wymagają opisu o charakterze rozmytym. W dalszych etapach prac zostaną stworzone reguły wnioskowania rozmytego pozwalające na praktyczne wyznaczenie poszukiwanych wielkości.

3.1. MODEL LOKALNY *Kompetencja*

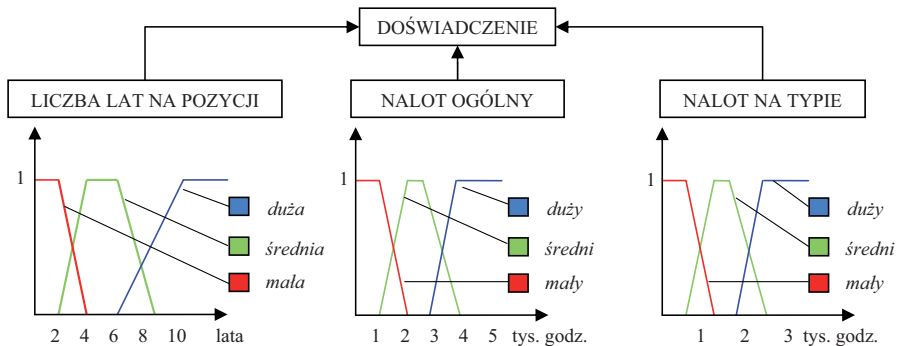
Zmienna lingwistyczna *Kompetencja* jest determinowana przez trzy zmienne wejściowe: *Trening*, *Doświadczenie* i *CRM* (rys. 2). Ta ostatnia jest wyjściem dla dwóch innych zmiennych lingwistycznych wejściowych: *Kultura* i *Osobowość/Usposobienie*. Przyjmuje się, że zmienna *Kompetencja* będzie przyjmowała wartości: *niska*, *średnia* bądź *wysoka*.



Rys. 2. Schemat lokalnego modelu rozmytego do wyznaczenia zmiennej lingwistycznej *Kompetencja*

Zmienna wejściowa *Trening* charakteryzuje członka załogi w zakresie aktualności w wykonywaniu zadań lotniczych. Można ją opisać wartościami rozmytymi: *dobry*, *średni*, *zły*. 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 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 posiadanych 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.

Zmienna lingwistyczna *Doświadczenie* przyjmuje wartości: *duże*, *średnie* lub *małe*. Na jej określenie wpływ będą miały takie wartości jak liczba lat spędzonych na pozycji (kapitan lub drugi pilot), nalot ogólny w tysiącach godzin i nalot godzinowy w odniesieniu do aktualnego typu samolotu. Przykładowy schemat modelu do wyznaczenia zmiennej lingwistycznej *Doświadczenie* wraz z proponowanymi wartościami rozmytych zmiennych wejściowych *Liczba lat na pozycji*, *Nalot ogólny* oraz *Nalot na typie* przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Schemat lokalnego modelu rozmytego do wyznaczenia zmiennej lingwistycznej *Doświadczenie*, wraz z wykresami zmiennych lingwistycznych *Liczba lat na pozycji*, *Nalot ogólny* i *Nalot na typie* dla wartości *duży*, *średni* i *mały* opisanych trapezoidalnymi funkcjami przynależności zbiorów rozmytych

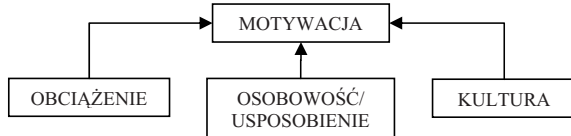
Zmienna lingwistyczna *CRM* czyli wykorzystanie zasobów załogi, czy częściej używane określenie „współpraca w załodze”, charakteryzuje zdolności i świadomość załogi jako zespołu wieloosobowego. Ważny wpływ na świadomość podejmowanych działań jak też na ich jakość mają sukcesywnie prowadzone obowiązkowe szkolenia z zasad *CRM*, zazwyczaj połączone ze szkoleniami z zarządzaniem ryzykiem (*ORM*) i koordynacją w załodze wieloosobowej (*MCC*). Współpraca w załodze odzwierciedla również zdolności interpersonalne, zdeterminowane głównie przez usposobienie oraz klimat organizacyjny, w tym przypadku odnoszący się do niepisanych schematów w stosunkach międzyludzkich (stosunek seniorów do młodszych, stosunki na linii kapitan – drugi pilot). W przypadku zmiennej lingwistycznej *CRM* można zaproponować podobny schemat kwantyfikacji jak w przypadku zmiennej *Trening* (wartości: *dobry*, *średni*, *zły*), zaś jako podstawę konstrukcji funkcji charakterystycznej odpowiadającego jej zbioru rozmytego przyjąć czas (przerwę), jaki upłynął od ostatniego szkolenia w miesiącach.

Nieco bardziej skomplikowana sytuacja istnieje w przypadku metody określania wartości zmiennej lingwistycznej *Kultura* opisującej klimat panujący w organizacji. Wstępnie proponujemy anonimowy kwestionariusz, zawierający zestaw pytań dotyczących niepisanych praktyk oraz opinii personelu o atmosferze panującej w organizacji. Na tej podstawie można uzyskać obraz klimatu organizacyjnego i opisać go wykorzystując trzy wartości zmiennej – kultura *niska*, *średnia*, *wysoka*. Czynniki ten jest stosunkowo wolnozmienny, a zatem badanie jego wartości nie musi być przeprowadzane w odniesieniu do każdego lotu, lecz trzeba go określać w przypadku ważnych zmian w organizacji (np. zmiana zarządu, zmiana systemu finansowego czy zmiany regulaminów, instrukcji, lub jakiegokolwiek inne mogące mieć wpływ na panującą w organizacji atmosferę).

Kolejna zmienna lingwistyczna *Osobowość/usposobienie* jest trudna do jednoznacznej oceny typu *dobry/zły*. W literaturze osobowość jest zazwyczaj charakteryzowana w sposób opisowy, za pomocą zestawu cech i umiejętności (jak np. zdolności do rozumienia dynamiki sytuacji, gotowość do przyswajania informacji i wymiany myśli, podział uwagi) [17]. W pracy tej zaproponowano kwestionariusz EPAQ (ang. Extended Personality Attributes Questionnaire) bazujący na stosunku do zadania i stosunku do ludzi i wyłoniono trzy zbiory cech w aspekcie *CRM*. Po pierwsze interpersonalne podejście do zadania, po drugie – negatywny styl działania, po trzecie – niska motywacja. W [7] autorzy podobnie wyróżniają trzy kategorie pilotów w oparciu o stosunek do zadania i umiejętność komunikacji. Najlepsza grupa wyróżnia się pozytywnym stosunkiem do zadania i dobrą komunikatywnością, charakteryzuje się niską wzajemną konkurencją, niskim poziomem agresji, wzajemnym szacunkiem, jest to grupa ludzi ciężko pracująca i nastawiona na osiągnięcie celu. Druga grupa z pozytywnym stosunkiem do zadania lecz niską komunikatywnością, oceniona jako *średnia*. Trzecia – negatywna – o negatywnym stosunku do zadania i niskiej komunikatywności. Podobnie jak kultura, osobowość jest praktycznie niezmienna i głęboko zakorzeniona. Pozostaje problem, kto i jak miałyby oceniać osobowość załóg. Proponujemy wykorzystanie wyników badań psychologicznych, jakim podlegają okresowo załogi, lub jeżeli organizacja dysponuje etatem psychologa, można dokonywać takich ocen częściej. Przyjmuje się, że zmienna lingwistyczna *Osobowość/usposobienie* może przyjmować wartości: *negatywna*, *średnia*, *pozytywna*.

3.2. MODEL LOKALNY *Motywacja*

Drugą istotną zmienną lingwistyczną wejściową dla modelu zmiennej *Stan załogi* jest *Motywacja*. Schemat modelu lokalnego tej zmiennej jest przedstawiony na rys. 4.

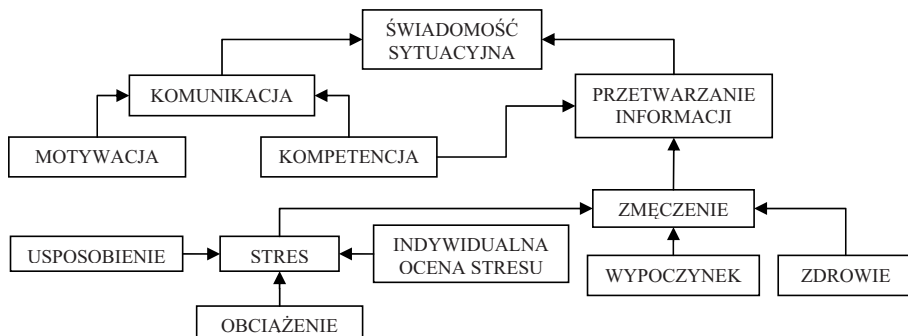


Rys. 4. Schemat lokalnego modelu rozmytego do wyznaczenia zmiennej lingwistycznej *Motywacja*

Zmienna lingwistyczna *Motywacja* przyjmuje na wyjściu wartości: *wysoka*, *średnia* lub *niska*. Determinowana będzie poprzez zmienne lingwistyczne *Kultura*, *Osobowość/usposobienie* oraz *Obciążenie*. Dwie pierwsze zmienne zostały opisane powyżej. Zmienną *Obciążenie* (ang. workload) można natomiast określić analizując czas potrzebny do przygotowania się do operacji lotniczej. Czas ten odzwierciedla nakład pracy, jaki załoga musi wykonać, aby przygotować się do lotu. Tym samym jest proporcjonalny do stopnia skomplikowania i trudności zadania w postaci zagęszczenia ruchu, skomplikowania procedur, pogody, dostępności informacji, przewidywanych opóźnień. Dla potrzeb niniejszej pracy przyjmujemy wartości zmiennej *Obciążenie*: *małe*, *średnie* i *duże*.

3.3. MODEL LOKALNY *Świadomość sytuacyjna*

Schemat modelu lokalnego do wyznaczenia wartości zmiennej lingwistycznej *Świadomość sytuacyjna* jest przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Schemat lokalnego modelu rozmytego do wyznaczenia zmiennej lingwistycznej *Świadomość sytuacyjna*

Zmienna lingwistyczna *Świadomość sytuacyjna* kształtowana będzie przede wszystkim przez zmienne: *Komunikacja* (determinowana przez zmienne *Kompetencja* i *Motywacja*) i *Przetwarzanie informacji*, na które wpływać będą zmienne *Kompetencja* i *Zmęczenie* (określone przez trzy zmienne lingwistyczne: *Stres*, *Zdrowie* i *Wypoczynek*).

Stres jest czynnikiem mającym podłoże psychologiczne, jednak bezpośrednio wpływa również na fizyczne możliwości organizmu. Jest zależny od usposobienia osoby w obszarze radzenia sobie ze stresem, również od obciążenia, które może mieć bezpośredni wpływ na poziom stresu, poza innymi, wielopłaszczyznowymi czynnikami, które każdy członek załogi powinien umieć identyfikować i oceniać. W związku z tym, że podłoże stresu może mieć wiele źródeł, proponujemy aby jedną ze zmiennych wejściowych do modelu lokalnego dla określenia wartości przyjmowanych przez zmienną lingwistyczną *Stres* była zmienna *Indywidualna ocena stresu*, której wartości byłyby przypisywane subiektywnie przez każdego z członków załogi. Ocena ta wraz z omówionymi powyżej zmiennymi *Obciążenie* i *Usposobienie* będą determinowały rozmytą ocenę zmiennej lingwistycznej *Stres*, przyjmującej wartości: *niski*, *średni*, bądź *wysoki*.

Zmienna lingwistyczna *Zdrowie* reprezentuje typowo fizyczne możliwości organizmu członka załogi w odniesieniu do bezpieczeństwa lotu. Każdy członek personelu latającego musi przejść okresowe badania lekarskie w certyfikowanym ośrodku, w wyniku których komisja orzeka jego zdolność do wykonywania zadań lotniczych. W przypadku lekkich odchyień od przyjętych norm lotnik jest dopuszczany do wykonywania obowiązków, a w orzeczeniu widnieją uwagi odnoszące się do konkretnych odchyień. Nie ma ograniczenia liczby takich uwag, jednak przyjmujemy, że większa ich liczba świadczy o zwiększonym ryzyku związanym z wykonaniem lotu. Kolejnym czynnikiem związanym ze stanem fizycznym człowieka jest jego wiek. Zakładamy, że wraz z wiekiem stopniowo obniżają się możliwości fizyczne organizmu. Bezpośredni związek ze zdrowiem ma sprawność fizyczna, a także samopoczucie, które również podlega ocenie subiektywnej członka załogi. Wszystkie te czynniki pozwolą nam na określenie wartości zmiennej lingwistycznej *Zdrowie*, przyjmującej wartości: *dobrze*, *średnie*, *złe*.

Wypoczynek ma bardzo istotny wpływ na stopień zmęczenia załogi i tym samym na jej stan i bezpieczeństwo ruchu lotniczego. Będzie on reprezentowany przez zmienną lingwistyczną *Wypoczynek*. Zakładamy, że zmienna ta będzie przyjmowała wartości: *minimalny*, *wystarczający* i *optymalny*, zaś podstawą do jej oceny będą głównie czas wypoczynku przed lotem, regularność lotów, zakłócenia biorytmu i wypoczynek długofalowy. Czas wypoczynku przed lotem powinien być zapewniony przynajmniej w rozmiarze określonym w przepisach jako minimalny, jednak w miarę możliwości powinien uwzględniać również historię pracy załogi i możliwości wypoczynku w poprzednich lotach. Regularność lotów to czynnik uwzględniający zmiany i opóźnienia w stosunku do planowanych zadań. Zakłócenia biorytmu związane będą z lotami, podczas których przekracza się strefy czasowe oraz intensywnością lotów nocnych. Wypoczynek długofalowy uwzględnia wykorzystanie urlopu lub czasu przeznaczanego na odnowę psychofizyczną. Zdarzają się sytuacje, w których piloci wykonują loty, a planowane urlopy, ze względu na operacyjnych, są przesuwane. Może to prowadzić do zmęczenia chronicznego. Miarodajną wielkością będzie tutaj czas, jaki upłynął od ostatniego urlopu trwającego co najmniej dwa tygodnie.

4. PODSUMOWANIE

Problem określenia stanu załogi w kontekście bezpieczeństwa ruchu lotniczego jest obiektem badań i publikacji, lecz głównie na poziomie ogólnym, organizacyjnym. Istotnym problemem jest określenie tej wartości dla konkretnej załogi, mającej do wykonania konkretne zadanie, gdzie ocenie podlega poziom ryzyka konkretnego lotu. Budowane modele rozpatrują zagadnienia częściowo, wyrywkowo - na przykład doświadczenie pilota określane jest jedynie na podstawie nalotu ogólnego.

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 realizowane przy pomocy zaproponowanego w niniejszej pracy modelu stanu załogi w kontekście bezpieczeństwa. Daje on możliwość liczbowej oceny ryzyka związanego z powierzeniem lotu konkretnej wybranej załodze. W [13] opisano badania wybranych linii lotniczych 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 planujemy zbudować w oparciu o prezentowany w tej pracy rozmyty model stanu załogi względem bezpieczeństwa w ruchu lotniczym, uzupełniony o rozmyte reguły wnioskowania. Na dzień dzisiejszy u operatorów lotniczych funkcjonują karty szacowania ryzyka, które są jednak niewystarczające. Nie uwzględnia się w nich bowiem kultury organizacyjnej, kultury bezpieczeństwa, jakości współpracy w załodze związanej z osobowością czy usposobieniem. Ponadto zmęczenie w kartach szacowania ryzyka jest traktowane w sposób znacznie uproszony w stosunku do proponowanego podejścia. 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. Co więcej, narzędzie opisujące problem w obiektywny, ilościowy sposób mogłoby także posłużyć osobom odpowiedzialnym w praktyce za dobór załóg. Ocena stanu załogi wykonana w oparciu o prezentowaną metodę pozwoliłoby łatwiej planować i zarządzać zasobami ludzkimi i w rezultacie przyczyni się do utrzymania przez operatora gotowości operacyjnej pod względem dostępności załóg.

Bibliografia

1. Ale B., Bellamy L., Cooke R., Goossens L., Hale A., Roelen A., Smith E., Towards a causal model for air transport safety - an ongoing research project, Safety Science, No. 44(8), 2006, p. 657-673.
2. Afrazeq A., Bartsch H., Human reliability and flight safety, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, vol. 14 (5), 2007.
3. Civil Aviation Authority, Crew Resource Management (CRM) Training Guidance For Flight Crew, CRM Instructors (CRMIS) and CRM Instructor-Examiners (CRMIES), Gatwick, 2006.
4. Civil Aviation Authority, Fundamental Human Factors Concepts, Gatwick, 2002.
5. Dekker S., The field guide to understanding human error, Ashgate Publishing Ltd., 2006.

6. Edwards E., Man and machine: Systems for safety, Proc. of British Airline Pilots Associations Technical Symposium, British Airline Pilots Associations, London 1972.
7. Ganesh A., Joseph C., Personality studies in aircrew: an overview, Ind. Journal of Aerospace Medicine, No. 49 (1), 2005, p. 54-62.
8. Hawkins F., Orady H., Human factors in flight (2nd ed.), Avebury Technical, 1993.
9. Karwal A. K., Verkaik R., Jansen C., Non-Adherence to Procedures - Why Does it Happen?, <http://www.crm-devel.org/resources/paper/Non%20Adherence%20To%20Procedures%20Karwal.PDF> (04.2013)
10. Klich E., Using the James Reason Theory in Air Events Study, Journal of Konbin, vol. 7(4), 2008, p. 19 - 40.
11. Konieczka R., Żurek P., Dominujący wpływ czynnika ludzkiego na bezpieczeństwo wykonywania lotów, Biuletyn Centralnego Ośrodka Szkolenia Straży Granicznej, Koszalin, Nr 1, 2010, str 12 - 24.
12. Lower M., Magott J., Skorupski J., Air Traffic Incidents Analysis with the Use of Fuzzy Sets, Lecture Notes in Computer Science, No. 7894, Springer 2013 (w druku).
13. Pei-Hui L., Safety Management and Risk Modelling in Aviation: The challenge of quantifying management influences, Delft University of Technology, PhD thesis, 2011, <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3A3b293559-81ed-4450-aa78-005bbd9054f1/> (04.2013)
14. Reason J., Human Error, Cambridge University Press, 1990.
15. Roelen A., van Baren G., Smeltink J., Morales O., A generic flight crew performance model for application in a causal model of air transport, NLR, Amsterdam, 2007.
16. Swain A., Guttman H., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, Rev. 1, Sandia National Laboratories, Albuquerque 1983.
17. Truszczyński O., Biernacki M., Zarządzanie zasobami załogi a efektywność wykonywania zadań lotniczych, Polski Przegląd Medycyny Lotniczej, Nr 4, 2006, p. 335-354.
18. Urząd Lotnictwa Cywilnego, Podręcznik zarządzania bezpieczeństwem (ICAO Doc 9859), wyd. 2, Warszawa, 2009.
19. Zadeh L., Kacprzyk J., Fuzzy logic for the management of uncertainty, Wiley, 1992.

THE PROBLEM OF CREW STATUS ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF AIR TRAFFIC SAFETY

Summary: The paper presents a method of flight crew status estimation in the context of air traffic safety. The term of flight crew status was defined. The key role of human factor (as flight crew) is stressed and the factors forming this state are introduced. The research problem is formulated by means of mathematical model elaboration to describe the flight crew status in quantitative form based on the chosen factors. Next the fuzzy model of flight crew status is introduced and suggested as the main factor forming the air traffic safety. The model includes the chosen factors as well as the logical coherence between them and the possibilities of quantification. The suggestion of fuzzy sets use in local models descriptions is made while some examples are given in the paper. The areas of new method's practical utilization are also indicated.

Keywords: human factor in air transport, air traffic safety, fuzzy inference