

Marta MACIEJEWSKA, Marta GALANT-GOŁĘBIEWSKA
Poznan University of Technology (Politechnika Poznańska)

ASSIGNATION OF TIREDNESS INDICATOR BASED ON THE PILOT'S CONCENTRATION AND SPEED REACTION ANALYSIS DURING THE FLIGHT

Wyznaczenie wskaźnika zmęczenia na podstawie analizy zmian koncentracji i szybkości reakcji pilota w czasie lotu

Abstract: *In the article, based on the research, the Tiredness Indicator was proposed. The research concerned the pilot's concentration and reaction time to individual stimuli. They were carried out using a flight simulator - CKAS MotionSim 5, located at the Poznan University of Technology. Measurements were made before and during the flight. Analysis of the results showed a periodic course of tiredness characteristics, a marked increase in tiredness in the middle of tests and tiredness of only one sense organ confirmed by the results of reaction time and subjective assessment. Based on the conducted research, it can be stated that tiredness reduces the cognitive abilities of the human brain and extends the reaction time to stimuli.*

Keywords: pilot's tiredness, Tiredness Indicator, flight simulator, reaction time

Streszczenie: *W artykule na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano wskaźnik zmęczenia. Badania dotyczyły koncentracji pilota i czasu reakcji na poszczególne bodźce. Przeprowadzono je za pomocą symulatora lotu - CKAS MotionSim 5, znajdującego się na Politechnice Poznańskiej. Pomiary wykonano przed i podczas lotu. Analiza wyników wykazała okresowy przebieg charakterystyk zmęczenia, wyraźny wzrost zmęczenia w połowie testów oraz zmęczenie tylko jednego narządu zmysłów, potwierdzone wynikami czasu reakcji i oceną subiektywną. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zmęczenie obniża zdolności poznawcze ludzkiego mózgu i wydłuża czas reakcji na bodźce.*

Słowa kluczowe: zmęczenie, wskaźnik zmęczenia, symulator lotów, czas reakcji

1. Introduction

Aviation is one of the fastest growing branches of transport. More efficient and high-speed aircraft allows traveling to all parts of the world in a very short time [12]. One of the basics of such travel is to provide the lowest level of risk. To ensure safety, it is important that the crew of the aircraft, and especially pilots, function properly. According to statistics related to the number of accidents it is estimated that about 25% of all air accidents occur during landing operations and 30% during take-off operations. The remaining 45% is divided into over flight (approx. 10%), preparation for the approach (approx. 12%), climbing (approx. 15%) and other operations. The air crew have to constantly control the aircraft. Their work based on the cooperation of man – machine control systems mostly [2, 7]. The pilot's task is to constantly control what happens to the machine both in the air and when taxiing on the airport, preparing the machine for take-off and guiding it to the terminal after landing. This type of work can easily lead to cognitive overload of crew [14]. In many cases, he is assisted in work by on-board systems, such as automatic flight control. Moreover, the most difficult take-off and landing maneuvers are still being conducted by the pilot. This mode of operation causes a problem, which is the long period of continuous surveillance of the on-board apparatus by the pilot, during which time he does not control the machine directly, but only controls the work of automatic on-board devices. After such a time of apparent inactivity, when approaching the destination airport, the crew must quickly change their work rhythm to the highest concentration required during the landing operation. It can lead to decreased reaction time and concentration, so in the article it was decided to focus on the phenomenon of pilot fatigue to determine the Tiredness Indicator.

2. Tiredness concept

Human factors are the weakest and most unpredictable element in the prevention of aviation accidents [3,4,5]. One of the reasons pilots make mistakes may be fatigue. Analyzing the crew's working time [15] it can be seen that it is no longer than the standard working time in other jobs. What can mainly affect the occurrence of pilot mistake in the aspect of fatigue is the monotony of performed activities. Fatigue is defined as the inability to continue the effort, or as an internal state, manifesting itself primarily in the reduction of the ability to perform work, which is a consequence of previously undertaken effort [8]. It occurs through the excessive influence of a physical or mental stimulus or a combination of both. Fatigue is affected by both the intensity of the stimulus and its duration. Although the pilot's work may not seem like a tiring job, he is exposed to many factors that increase fatigue. These factors can be divided into two groups due to their nature [13]. First group are external factors: i.e. frequent changes of time zones, reduced pressure inside the aircraft and hence, less oxygen in the air, noise and vibrations, inaction and boredom and the second group are psychophysical factors (individual characteristics of each person): i.e. resistance

to stress and confusion, divisibility of attention, susceptibility to caffeine and nicotine, physical resistance to specific stimuli, such as noise, light, vibrations. In the case of pilot work, these factors may also cause monotony. Monotony can be defined as lack of variety or immutability. The human body, which for a long time is exposed to the same factors and forced to perform very similar activities, falls into a routine. This causes adaptation to the prevailing conditions and reduces the amount of energy resources needed for further work of the human body. In this way, the pilot falls unconsciously into monotony, which is characterized by other causes, but similar symptoms as fatigue [11]. Considering the characteristics of the phenomenon of fatigue and monotony in the research, it was decided to analyze the concentration and reaction time of the pilot so that it was possible to determine the Tiredness Indicator, which is a numerical characteristic of the state of pilot fatigue.

3. Research methodology and their course

3.1. Course of Research

The studies were conducted using a flight simulator. Flight simulators are mainly used to conduct training for pilots, but they can also be used for research purposes [1,6,9]. In this research the CKAS MotionSim 5 was used, which is located in the Simulator Research Laboratory at the Poznan University of Technology. The route, which the pilot operated, connects Jeju Island with the capital of South Korea - Seoul. This is the busiest route among all air routes in the world. The trip along this trail lasts about 1 hour and 10 minutes. The length of the route and the fact that it is frequented most often makes it ideal for conducting research on concentration and reaction time of a pilot. Flights in the simulator were made from both airports on this route: RKPC (Jeju International Airport) and RKSS (Seoul Gimpo). The simulated route was divided for two parts. The first is the arrival at the landmark - Yenchon Airport. The course should be changed to another direction above the airport. This way of navigation turned out to be too inaccurate, so the appropriate radio frequencies were used. This enabled accurate navigation and landing using the ILS system. Yenchon airport (orientation point) was on 2/3 or 1/3 of the route, depending on which direction the flight was taken. Thanks to this, it was a time marker for conducting concentration tests and the speed of reactions on the pilot's control. On the route from Jeju to Seoul, it marked the end of the tests, and in the opposite direction was the starting point. In the research participated a woman - aged 22, with a SPL (Sailplane Pilot License) and PPL (Private Pilot License). The task of the respondent was to take off from one of the airports described, depending on which direction the flight was taking (RKPC - RKSS or RKSS - RKPC). After start, was a rise to an altitude of 8000 ft, during which the pilot controlled the systems. After reaching the set altitude, an automatic control system was launched and the appropriate course was programmed. With the help of these assistance systems, the flight to the destination was carried out and there landing with the use of ILS

(Instrumental Landing System) system. The landing operation and reaching the designated Apron under the terminal were carried out by the pilot. All flights took place under good weather conditions (CAVOK). The pilot's working time has been divided into two main parts: flight - consisting of take-off, short climb to a proper altitude and flight using automatic control systems. During the flight all tests were carried out. The second part was parking - consisting of taxiing to the terminal and a break near it simulating the time needed to unload the plane, escort passengers, refuel, reload and boarding new passengers. During this time another test was carried out. The stop ended with a taxi again to the runway. During the study, this plan was repeated five times, that is, the study consisted of five flights selected route back and forth interrupted by stops at the destination airports (fig. 1).

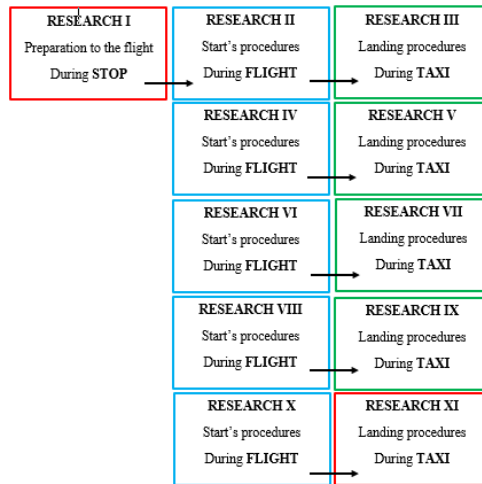


Fig. 1. Scheme of research course (own elaboration)

With the blue frame marked research during flight and in the green frame during Taxi operations. The tests were carried out in the following order: Reflex application test (two times), concentration test (three times). Five repetitions of the test, per reaction time (for visual, auditory, sensory stimuli).

3.2. Tools used in research

Three systems were used for the research. Two of them are applications running on Android on a mobile device, which was a mobile phone. The third application is an online concentration test running from a web browser on a touch screen tablet.

a) Test of concentration and reaction time with the Reflex application

The test using this application consists of five stages (from A to E - fig. 2). Each of them has a different test of reaction time and concentration using tricky exercises. After completing each level, the application displays information about the time of the trial. The final screen displays a summary of all times and their total length.

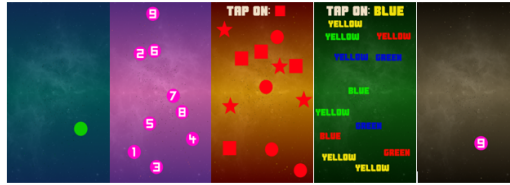


Fig. 2. Illustration of Reflex application – stages from A to E

b) Reflex Test 2 reaction rate test

The third application allows to measure the response time to various stimuli: visual – changing the color of the button on the screen, auditory – sound signal, sensory – vibrations. The choice of test is made in the application menu shown in fig. 3a. Each of the tests is carried out separately in a selected order. The operation of the application is very simple, and the test itself boils down to pressing the colored square after the appearance of the appropriate stimulus (e.g. change of color at the visual stimulus, as seen in the figure).

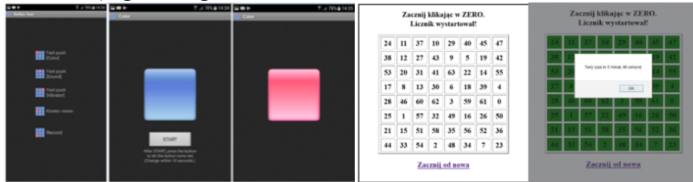


Fig. 3. Tools used in research a) Reflex Test 2 reaction speed test; b) Concentration Test

c) Concentration Test

The second tool is an online application for testing concentration. The task in this test is to check boxes with consecutive numbers. The number range can be adjusted by selecting the size of the test field by defining the number of columns and rows. For testing, the size of the test field was limited to 8 rows and 8 columns, which resulted in a field of 64 squares with numbers from 0 to 63 (fig. 3b). This size was chosen based on a previous study on a group of several people. The average solving times of this test ranged from 120 to 180 seconds, which allowed for three tests during a single test block.

4. Research analysis and determination of tiredness indicator

4.1. Research analysis

Based on the test results, characteristics for individual tests were developed. Characteristics were made using previously averaged data. In fig. 4a. the reaction time for individual tests is shown along with the trend lines. As can be seen, the longest reaction time occurred in the case of the E test. What could have been caused by the order of the test – was carried out last in each round. The shortest response time occurred in tests C and D.

When analyzing the graph in terms of all tests, it can be seen that the longest response test concerned researches 8 and 9. Tests A, B, C and D have a decreasing trend line, while the test E increases.

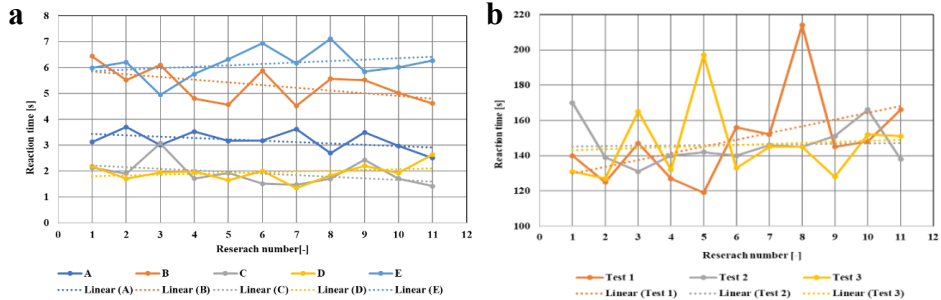


Fig. 4. Characteristic of reaction time in a) Reflex Test; b) Concentration Test

Another characterization developed is the concentration level test depending on the research number. Three attempts were performed in each research (fig. 4b). As can be seen, there are large fluctuations in this test. The largest time occurred in the case of 5 and 8 studies. The most dynamic changes occurred in the case of sample 1. However, sample 2 is characterized by smaller variability, which may be due to the repeatability of the test. Characteristics for the 3rd tests carried out were also made (fig. 5). The fastest reaction time is characterized by the speed of auditory response, while the smallest tactile stimuli. For the rate of visual stimulus response, the shortest time occurred during the 8th research, for the auditory and tactile stimulus, it was the 10th test. The designated trend lines are increasing for each stimulus.

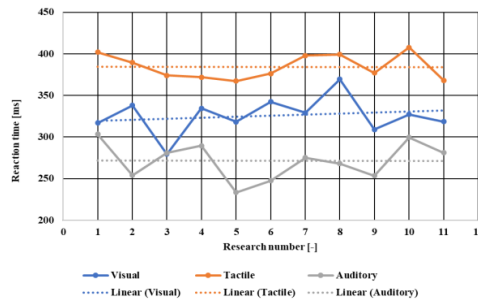


Fig. 5. Characteristic of reaction time in Reflex Test 2

4.2. Determination of Tiredness Indicator

Based on the collected data and their subsequent averaging, the Tiredness Indicator was determined. For this purpose, an algorithm for its determination was developed. The first stage is to average the previously collected results. In turn, the average reaction time was determined for each level in the test. The difference between the average and the results obtained was then calculated. For negative values of differences (reaction time longer than

average) ranges and corresponding scales were determined. After the scales, according to the recorded dependence, the values of the Tiredness Indicator were calculated for a particular research (from 1 to 11). Accurate development of the Tiredness Indicator for one of the tests carried out: Steps 1 and 2 – Averaging the results and calculating the average for individual test levels – in this example for levels up from A to E. The same operation was performed for the concentration level test and the second reaction time test. In table 1 are located results of research from 1 to 3, which was averaging in advance.

Table 1

Results of Test Reflex research and of subtraction (step 3)

Nr	Results of research [s]					Results of subtraction between average and results				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	3.123	6.444	2.136	2.193	5.987	0.06	-1.12	-0.22	-0.24	0.16
2	3.705	5.524	1.906	1.709	6.213	-0.52	-0.20	0.01	0.24	-0.07
3	3.011	6.103	3.081	1.954	4.949	0.17	-0.78	-1.17	0.00	1.20
\bar{x}	3.183	5.327	1.911	1.951	6.146					

Step 3 – Calculating the difference between the average for a given level and the result obtained. The same operation was performed for the concentration level test and the second response speed test. Table 1 also consist results from subtraction between average for each level of test and research result. Step 4 – Giving intervals for negative values and corresponding scales. The same operation was performed for the concentration level test and the second response speed test. Table 2 consist four interval and scales which are used to classify research result.

Table 2

Interval and scales in Reflex Test research

Interval		Scales
from	to	
-0.6		4
-0.4	-0.59	3
-0.2	-0.39	2
-0.01	-0.19	1

As an example prepared table 3 and 4, which contains adopted scales for research from 1 to 3 in Reflex Test, Reflex Test 2 and Concentration Level Test.

Table 3

Fragment of adopted scales in Reflex Test

Research number	Results of research [s]					Σ SR
	A	B	C	D	E	
1	0	4	2	2	0	12
2	3	2	0	0	1	10
3	0	4	4	1	0	13
.....						
Average	0,91	1.36	0.91	1.00	1.09	8.18

Table 4

Adopted scales in Reflex Test 2 and Concentration Test research

Nr	Reflex Test 2 [s]				Concentration Test			Σ CT
	Visual	Auditory	Tactile	Σ SR2	Test 1	Test 2	Test 3	
1	0	1	3	4	0	2	0	2
2	1	1	0	2	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	2	2
.....								
\bar{x}	0.82	0.55	0.73	2.09	0.73	0.45	0.73	1.73

Step 5 – Calculate the Tiredness Indicator according to the formula. The same operation was performed for each test (from 1 to 11). The exact calculations are presented in the example of research number 1:

$$TI = SR1 \cdot 0.4 + SR2 \cdot 0.3 + CT \cdot 0.3 \tag{1}$$

SR1 – sum of adopted scales in Reflex Test research

$$SR1 = \sum w_A + w_B + w_C + w_D + w_E = 12 \tag{2}$$

$$SR2 = \sum w_w + w_s + w_d = 4 \tag{3}$$

SR2 – sum of adopted scales in Reflex Test 2

$$CT = \sum w_{P1} + w_{P2} + w_{P3} = 2 \tag{4}$$

CT – sum of adopted scales in Concentration Test

$$TI = (SR1 \cdot 0.4) + (SR2 \cdot 0.3) + (CT \cdot 0.3) = 12 \cdot 0.4 + 4 \cdot 0.3 + 2 \cdot 0.3 = 6.6$$

In table 5 presented the Tiredness Indicator for each conducted research – from 1 to 11.

Table 5

Tiredness Indicator for each research

Research number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TI	6.6	4.6	6.1	1.5	2	5.4	2.8	5.9	7.1	2.4	4.2

Based on determinate Tiredness Indicator created two characteristics. First one (fig. 6a) presented TI indicator for each research. It can be seen, that the biggest value of T, consider 9 research. Research number 1, 3, 6, 8, 9 were one of the biggest values in all research. Trend line for TI indicator has decrease characteristic. To relate the test results to the air operations during which they were conducted, a second characteristic was developed.

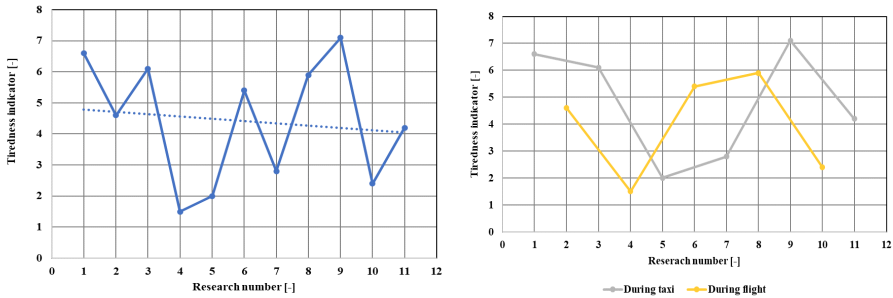


Fig. 6. Tiredness Indicator a) for each research (from 1 to 11); b) Tiredness Indicator related to air operations – during Taxi or during flight

Analyzing the characteristics, one it can be seen, some interchangeability in the Tiredness Indicator values (fig. 6b). At the beginning of testing, the indicator reached quite a high value in both cases – about 5 and 6.5. Then it began to decrease sharply. In the middle of the research cycle, in the case of taxi operation, the indicator reached small values, while high values during the flight. There was a change in the final testing phase. Tests performed during the flight are characterized by rapidly declined value, while during taxiing, in the final phase, they reached the highest indicator value – 7.

5. Conclusion

In the article, the pilot's Tiredness Indicator was developed based on the concentration and speed of pilot's responses study. Conducting the research enabled to perform a thorough analysis and to develop an algorithm for determining the Tiredness Indicator. Analyzing the results of the calculations carried out, it can be seen that, according to the trend line of the TI characteristic, it decreases as research progresses. At the beginning of the tests, the TI

indicator reached relatively high values, as they progressed – during tests 4 and 5 it significantly decreased. It can be also observing a certain repeating pattern in the collected results, which is the waveform of graphs (their periodicity). This is due to the influence of the second parameter studied, which is monotony. It manifests itself in gaps of activity (an increase in the speed of reactions and mental processes, which leads to an increase in the ability to concentrate). Moreover, between these increases there is a clear and dangerous decrease in the capabilities of the human body. Threat in the case of monotony, in addition to effects similar to fatigue such as drowsiness, impairment of brain or sensory organs, is also manifested in sudden decreases in masked concentrations through their re-increases. Due to the individual nature of these symptoms, it is difficult to define explicit recommendations and develop systems that would counteract fatigue. Therefore, cooperation of crew members to control each other in these matters becomes an important aspect. The conversation between pilots is helpful in fighting monotony, thanks to which they are less exposed to silent inactivity. In addition, conversation allows you to keep mind in a state of excitement and increased activity.

6. References

1. Boril J., Jalovecky R.: Experimental Identification of Pilot Response Using Measured Data from a Flight Simulator. In: Iliadis L., Maglogiannis I., Papadopoulos H. (eds) Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer, vol. 381, Berlin, Heidelberg, 2012, DOI: 10.1007/978-3-642-33409-2_14.
2. Cameron N., Thomson D.G., Murray-Smith D.J.: Pilot modelling and inverse simulation for initial handling qualities assessment. *Aeronautical Journal*, 2003.
3. Carver J.C., Penzenstadler B., Serebrenik A., Yamashita A.: The Human Factor, *IEEE SOFTWARE*, vol. 34, iss. 5, 2017, DOI: 10.1109/MS.2017.3571580.
4. Cekan P., Korba P., Sabo J.: Human Factor in Aviation - Models Eliminating Errors. *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 18th International Conference on Transport Means, Kaunas Univ Technol, Kaunas, Lithuania, 2014.*
5. Cokorilo O.: Human factor modelling for fast-time simulations in aviation. *Aircraft Engineering And Aerospace Technology*, vol. 85, iss. 5, 2013, DOI: 10.1108/AEAT-07-2012-0120.
6. Galant M., Merkisz J.: Analysis of the possibilities of using EEG in assessing pilots' psychophysical condition. *Sci. J. Silesian Univ. Technol. Ser. Transp.*, vol. 95, 2017.
7. Jalovecký R.: Man in the Aircraft Flight Control System. *Advances in Military Technology*, vol. 4, no. 1, June 2009.
8. Kołodziejczyk E.: Fatigue as a basic physiological regularity, 2012, <https://www.prawo.pl/kadry/zmeczenie-definicja,187188.html>

9. Kozuba J., Bondaruk A.: Flight simulator as an essential device supporting the process of shaping pilot's awareness. Scientific Research & Education in the Air Force, 1, 2014.
10. Kozuba J.: Human factor – the role of flight simulator in aviation training. Logistics, 2011.
11. Łuczak A., Zużewicz K.: Drivers' tiredness and work safety, PIB, 2006.
12. Maciejewska M., Fuć P., Galant M., Kardach M.: Use of faultlessness indicator to rate human reliability in human – operating aircraft system. Journal of KONBiN, vol. 49, iss. 1, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0006.
13. Makarowski R., Smolicz T.: Human factor in flight operations, pub. Adriana Aviation, Kosowizna 2012.
14. Rao Vijay D., Balas-Timar D.: A Soft Computing Approach to Model Human Factors in Air Warfare Simulation System. Innovations In Intelligent Machines-5: Computational Intelligence In Control Systems Engineering, Studies in Computational Intelligence, 2014. DOI 10.1007/978-3-662-43370-6_5.
15. Regulation Of The Minister Of Infrastructure of 13 December 2002 on the working and rest time of aircraft crew members and air traffic controllers. Based on Article. 103 paragraphs. 4 of the Act of 3 July 2002 - Aviation Law (Journal of Laws No. 130, item 1112).

WYZNACZENIE WSKAŹNIKA ZMĘCZENIA NA PODSTAWIE ANALIZY ZMIAN KONCENTRACJI I SZYBKOŚCI REAKCJI PILOTA W CZASIE LOTU

1. Wprowadzenie

Lotnictwo to jedna z najszybciej rozwijających się gałęzi transportu. Bardziej efektywne i osiągające większe prędkości samoloty pozwalają na podróżowanie po całym świecie w bardzo krótkim czasie [12]. Jedną z podstaw takich podróży jest zapewnienie najniższego poziomu ryzyka. Dla zapewnienia bezpieczeństwa ważne jest, aby załoga samolotu, a zwłaszcza piloci, funkcjonowali prawidłowo. Według statystyk dotyczących liczby wypadków szacuje się, że około 25% wszystkich wypadków lotniczych ma miejsce podczas operacji lądowania i 30% podczas operacji startowych. Pozostałe 45% dzieli się na przelot (ok. 10%), podejście (ok. 12%), wznoszenie (ok. 15%) oraz inne operacje. Załoga lotnicza musi stale kontrolować samolot. Ich praca opiera się głównie na współpracy systemów sterowania człowiek – maszyna [2,7]. Zadaniem pilota jest ciągle kontrolowanie tego, co dzieje się z maszyną zarówno w powietrzu, jak i podczas kołowania na lotnisku, przygotowania maszyny do startu oraz doprowadzenia do terminalu po wylądowaniu. Taki rodzaj pracy może łatwo prowadzić do przeciążenia poznawczego załogi [14]. W wielu przypadkach pilota wspomagają w pracy systemy pokładowe, np. automatyczne sterowanie lotem. Ponadto w dalszym ciągu pilot wykonuje najtrudniejsze manewry startu i lądowania. Ten tryb pracy stwarza problem, jakim jest długi okres ciągłego nadzoru nad aparaturą pokładową przez pilota, w czasie którego nie steruje on bezpośrednio maszyną, a jedynie steruje pracą automatycznych urządzeń pokładowych. Po takim czasie pozornej beczynności, zbliżając się do lotniska docelowego, załoga musi szybko zmienić swój rytm pracy na najwyższą koncentrację wymaganą podczas operacji lądowania. Może to prowadzić do skrócenia czasu reakcji i zmniejszenia koncentracji, dlatego w artykule postanowiono skupić się na zjawisku zmęczenia pilota, w celu wyznaczenia wskaźnika zmęczenia.

2. Pojęcie zmęczenia

Czynnik ludzki jest najsłabszym i najbardziej nieprzewidywalnym elementem zapobiegania wypadkom lotniczym [3,4,5]. Jednym z powodów popełniania błędów przez

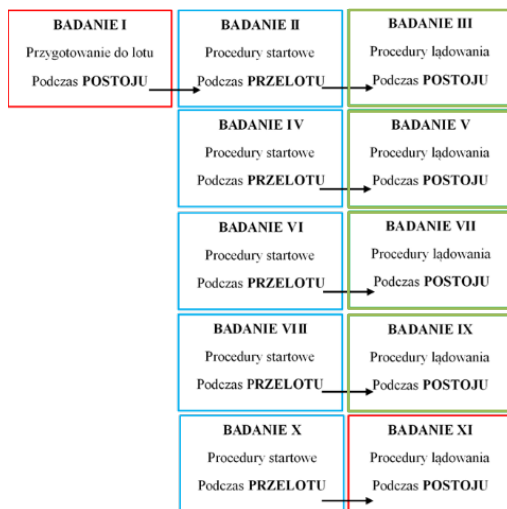
pilotów, może być zmęczenie. Analizując czas pracy załogi [15] można zauważyć, że nie jest on dłuższy niż standardowy wymiar czasu pracy na pozostałych stanowiskach. To, co może wpłynąć głównie na wystąpienie błędu pilota w aspekcie zmęczenia, to monotonia wykonywanych czynności. Zmęczenie definiuje się jako niezdolność do kontynuowania wysiłku lub jako stan wewnętrzny, przejawiający się przede wszystkim ograniczeniem zdolności do wykonywania pracy, będącym konsekwencją wcześniej podjętego wysiłku [8]. Występuje w wyniku nadmiernego wpływu bodźca fizycznego lub psychicznego lub połączenia obu. Na zmęczenie wpływa zarówno intensywność bodźca, jak i czas jego trwania. Chociaż praca pilota może nie wydawać się męcząca, jednak jest on narażony na wiele czynników, które zwiększają zmęczenie. Ze względu na swój charakter czynniki te można podzielić na dwie grupy [13]. Pierwszą grupą są czynniki zewnętrzne np. częste zmiany stref czasowych, zmniejszone ciśnienie wewnątrz samolotu, a co za tym idzie, mniejsza ilość tlenu w powietrzu, hałas i drgania, zbyt wysoka temperatura w kokpicie, beczyność oraz znudzenie. Drugą grupę czynników stanowią czynniki psychofizyczne (indywidualne cechy każdej osoby) np. odporność na stres i dezorientację, podzielność uwagi, podatność na kofeinę i nikotynę, odporność fizyczna na konkretne bodźce, takie jak np. hałas, światło, wibracje. W przypadku pracy pilota przedstawione czynniki mogą również powodować monotonię. Monotonię można zdefiniować jako brak różnorodności lub niezmienności. Ciało ludzkie, które przez długi czas narażone jest na te same czynniki i zmuszone do wykonywania bardzo podobnych czynności, popada w rutynę. Powoduje to dostosowanie się do panujących warunków oraz zmniejsza ilość zasobów energetycznych potrzebnych do dalszego funkcjonowania. W ten sposób pilot wpada nieświadomie w monotonię, która charakteryzuje się innymi przyczynami, ale podobnymi objawami jak zmęczenie [11]. Mając na uwadze charakterystykę zjawiska zmęczenia i monotonii w badaniach zdecydowano się przeanalizować koncentrację i czas reakcji pilota, tak aby można było wyznaczyć Wskaźnik Zmęczenia, który jest liczbową charakterystyką stanu zmęczenia pilota.

3. Metodyka oraz przebieg badań

3.1. Przebieg badań

Badania przeprowadzono na symulatorze lotów, które służą głównie do prowadzenia szkoleń pilotów, ale mogą być również wykorzystywane do celów badawczych [1,6,9]. W badaniach wykorzystano symulator CKAS MotionSim 5, który znajduje się w Laboratorium Badań Symulatorowych Politechniki Poznańskiej. Trasa, którą wykonywał pilot, łączy wyspę Jeju ze stolicą Korei Południowej - Seulem. To najbardziej ruchliwa trasa spośród wszystkich tras lotniczych na świecie. Przelot tym szlakiem trwa około 1 godz. i 10 min. Długość trasy oraz fakt, że jest ona najczęściej uczęszczana sprawia, że idealnie nadaje się do prowadzenia badań koncentracji, a także czasu reakcji pilota. Loty w symulatorze zostały wykonane z obu lotnisk na tej trasie: RKPC (Międzynarodowe

Lotnisko Jeju) oraz RKSS (Seul Gimpo). Symulowana trasa została podzielona na dwie części. Pierwszym jest przelot do punktu orientacyjnego – lotniska Yenchon. W tym miejscu należało zmienić kurs na inny kierunek. Ten sposób nawigacji okazał się zbyt niedokładny, więc użyto odpowiednich częstotliwości radiowych. Umożliwiło to dokładną nawigację i lądowanie przy użyciu systemu ILS (Instrumental Landing System). Lotnisko Yenchon (punkt orientacyjny) znajdowało się na 2/3 lub 1/3 trasy, w zależności od kierunku lotu. Dzięki temu stanowił wyznacznik czasu dla przeprowadzania badań czasu i szybkości reakcji pilota. Na trasie z Jeju do Seulu punkt orientacyjny oznaczał koniec testów, a w przeciwnym kierunku był punktem startowym. W badaniu wzięła udział 22-letnia kobieta z licencją SPL (licencja pilota szybowcowego) i PPL (licencja pilota turystycznego). Zadaniem badanego był start z jednego z opisanych lotnisk, w zależności od kierunku lotu (RKPC - RKSS lub RKSS - RKPC). Po starcie nastąpiło wzniesienie się na wysokość 8000 stóp, podczas którego pilot kontrolował ustawienia systemów. Po osiągnięciu zadanej wysokości uruchomiono automatyczny system sterowania oraz zaprogramowano odpowiedni kurs. Z pomocą tych systemów wspomaganie odbywał się lot do miejsca docelowego i tam lądowanie z wykorzystaniem systemu ILS. Operację lądowania i dotarcie do wyznaczonej płyty pod terminal wykonał pilot. Wszystkie loty odbywały się w dobrych warunkach pogodowych (CAVOK). Czas pracy pilota został podzielony na dwie główne części: lot – polegający na starcie, krótkim wznoszeniu na odpowiednią wysokość oraz lot z wykorzystaniem automatycznych systemów sterowania. Podczas lotu przeprowadzono wszystkie testy. Druga część to parkowanie – polegające na kołowaniu do terminalu i przerwie w jego pobliżu, symulującej czas potrzebny na rozładunek samolotu, eskortowanie pasażerów, tankowanie, przeładowanie, a także wejście na pokład nowych pasażerów. W tym czasie przeprowadzono kolejny test. Postój zakończył się ponownym przejazdem na pas startowy. W trakcie badania plan ten został powtórzony pięciokrotnie, czyli badanie składało się z pięciu lotów obraną trasą tam i z powrotem, przerywanych postojami na lotniskach docelowych (rys. 1 – niebieską ramką oznaczono badania podczas lotu oraz zieloną ramką podczas postoju. Testy przeprowadzono w następującej kolejności: test aplikacji Reflex (dwa razy), test koncentracji (trzy razy). Pięć powtórzeń testu na czas reakcji (dla bodźców wzrokowych, słuchowych, sensorycznych).



Rys. 1. Schemat przebiegu badań (opracowanie własne)

3.2. Narzędzia użyte w badaniach

Do badań wykorzystane zostały trzy aplikacje. Dwie z nich działają w systemie Android na urządzeniu mobilnym, którym jest telefon komórkowy, a trzecia jest internetowym testem koncentracji, działającym z poziomu przeglądarki internetowej na tablecie z dotykowym ekranem.

a) Test koncentracji i szybkości reakcji aplikacją Reflex

Test za pomocą tej aplikacji składa się z pięciu etapów (od A do E – rys. 2). W każdym z nich w inny sposób sprawdza się szybkość reakcji oraz koncentrację za pomocą podchwytliwych ćwiczeń. Po zakończeniu każdego poziomu aplikacja wyświetla informację o czasie próby. Na ekranie końcowym zaś wyświetlane jest zestawienie wszystkich czasów oraz ich łączna długość.

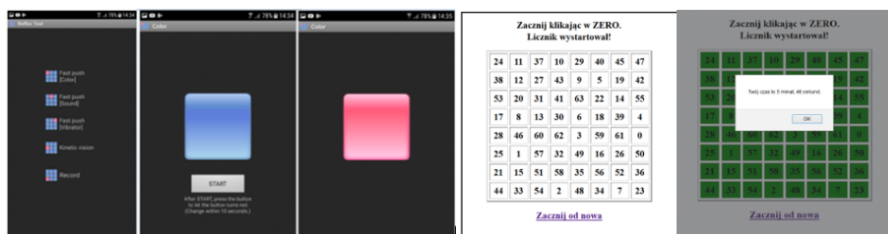


Rys. 2. Aplikacja reflex Test – poziomy od A do E

b) Test szybkości reakcji Reflex Test 2

Trzecia aplikacja pozwala na zmierzenie czasu reakcji na różne bodźce: wzrokowe – zmiana koloru przycisku na ekranie, słuchowe – sygnał dźwiękowy oraz czuciowe – wibracje.

Wyboru testu dokonuje się w menu aplikacji przedstawionego na rys. 3a. Każdy z testów przeprowadza się osobno w wybranej kolejności. Działanie aplikacji jest bardzo proste, a sam test sprowadza się do naciśnięcia kolorowego kwadratu po pojawieniu się odpowiedniego bodźca (np. zmiana koloru przy bodźcu wzrokowym, co widać na rysunku).



Rys. 3. Narzędzia użyte w badaniach a) Reflex Test 2; b) Test koncentracji

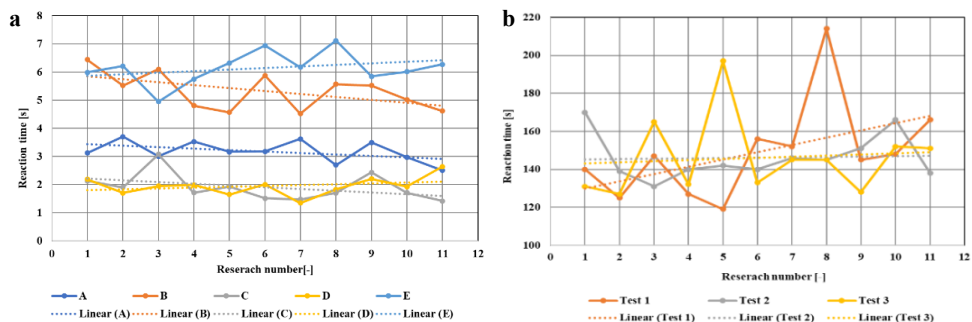
c) Test koncentracji

Drugim narzędziem jest internetowa aplikacja służąca do sprawdzenia stanu koncentracji. Zadaniem w tym teście jest zaznaczanie pól z kolejnymi liczbami. Zakres liczbowy można dostosować poprzez wybór rozmiaru pola testowego za pomocą zdefiniowania liczby kolumn i wierszy. Na potrzeby badań rozmiar pola testowego został ograniczony do 8 wierszy i 8 kolumn, co dało pole 64 kwadratów z liczbami od 0 do 63 (rys. 3b). Taki rozmiar został wybrany na podstawie wcześniej przeprowadzonego badania na grupie kilku osób. Średnie czasy rozwiązywania tego testu mieściły się w granicach od 120 do 180 s, co pozwoliło na wykonanie trzech prób podczas pojedynczego bloku testowego.

4. Analiza wyników przeprowadzonych badań oraz wyznaczenie wskaźnika zmęczenia

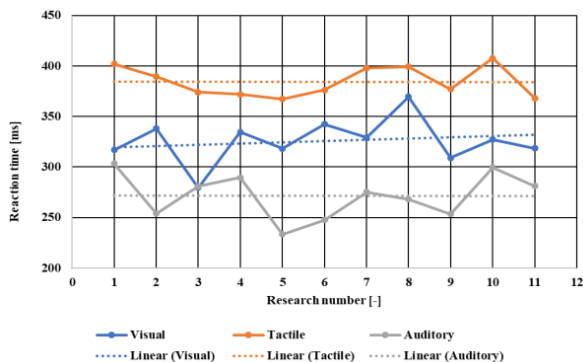
4.1. Analiza wyników badań

Na podstawie wyników badań opracowano charakterystyki dotyczące poszczególnych testów. Charakterystyki wykonano przy użyciu uśrednionych wcześniej danych. Na rys. 4a przedstawiono czas reakcji dla poszczególnych testów razem z liniami trendu. Jak można zauważyć najdłuższy czas reakcji występował w przypadku testu E. Co mogło być spowodowane kolejnością testu – przeprowadzany był jako ostatni w każdej turze. Najkrótszy czas reakcji występował w testach C i D. Analizując wykres pod względem wszystkich testów, można zauważyć, iż najdłuższe testu reakcji dotyczyły badania numer 8 i 9. Testy A, B, C i D charakteryzują się zmniejszającą linią trendu, natomiast test E zwiększającą.



Rys. 4. Charakterystyki czasu reakcji. Wyniki dla a) Reflex Test; b) Test koncentracji

Kolejną opracowaną charakterystyką jest badanie poziomu koncentracji w zależności od przeprowadzonego badania (rys. 4b). W każdym badaniu wykonane były 3 próby. Jak można zauważyć, w teście tym występują duże wahania. Największy czas występował w przypadku 5 oraz 8 badania. Najbardziej dynamiczne zmiany wstępowały w przypadku próby 1. Natomiast próba 2 charakteryzuje się mniejszą zmiennością, co może być spowodowane powtarzalnością testu. Wykonana została również charakterystyka dla 3 przeprowadzanego testu (rys. 5). Największym czasem reakcji charakteryzuje się szybkość reakcji słuchowa, a najmniejszym reakcja dotykowa. W przypadku szybkości reakcji na bodziec wzrokowy najdłuższy czas wystąpił podczas 8 badania, a dla bodźca słuchowego i dotykowego, było to 10 badania. Wyznaczone linie trendu, w przypadku każdego bodźca mają charakter zwiększający.



Rys. 5. Charakterystyka czasu reakcji dla Reflex Test 2

4.2. Wyznaczenie wskaźnika zmęczenia

Na podstawie zebranych danych oraz późniejszym ich uśrednieniu przeprowadzono wyznaczenia wskaźnika zmęczenia. W tym celu opracowano algorytm jego wyznaczania. Pierwszym etapem jest uśrednienie zebranych wcześniej wyników. Kolejno, dla każdego poziomu w teście wyznaczono średni czas reakcji. Została obliczona różnica pomiędzy

średnią, a uzyskanymi wynikami. Dla ujemnych wielkości różnic (czas reakcji dłuższy od średniego) wyznaczono przedziały oraz odpowiadające im wagi. Po nadaniu wag, zgodnie z zapisaną zależnością obliczono wartości wskaźnika zmęczenia dla poszczególnego badania (od 1 do 11), przedstawione zostanie dokładne opracowanie wskaźnika zmęczenia dla jednego z przeprowadzanych testów. Krok 1 i 2 – Uśrednienie wyników oraz obliczenie średniej dla poszczególnych poziomów testu – w tym przykładzie dla poziomu od A do E. Tę samą czynność wykonano dla testu poziomu koncentracji oraz drugiego testu szybkości reakcji. W tabeli 1 przedstawiono wyniki dla badań od 1 do 3 po wykonaniu kroku 1 i 2.

Tabela 1

Wyniki Testu Reflex oraz wynik odejmowania (krok 3)

Nr	Wyniki badań [s]					Wyniki odejmowania				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	3.123	6.444	2.136	2.193	5.987	0.06	-1.12	-0.22	-0.24	0.16
2	3.705	5.524	1.906	1.709	6.213	-0.52	-0.20	0.01	0.24	-0.07
3	3.011	6.103	3.081	1.954	4.949	0.17	-0.78	-1.17	0.00	1.20
\bar{x}	3.183	5.327	1.911	1.951	6.146					

Krok 3 – Obliczenie różnicy między średnią dla danego poziomu a uzyskanym wynikiem. Ta sama operacja została wykonana dla testu poziomu stężenia i drugiego testu szybkości odpowiedzi. Tabela 1 zawiera również wyniki odejmowania średniej dla każdego poziomu testu i wyniku badania. Krok 4 – Podawanie przedziałów dla wartości ujemnych i odpowiadających im skal. Ta sama operacja została wykonana dla testu poziomu stężenia i drugiego testu szybkości odpowiedzi. Tabela 2 zawiera cztery przedziały i skale, które służą do klasyfikacji wyników badań.

Tabela 2

Przyjęte przedziały i odpowiadające im skale

Przedział		Skala
od	do	
-0.6		4
-0.4	-0.59	3
-0.2	-0.39	2
-0.01	-0.19	1

Jako przykład, w tab. 3 i 4 przedstawiono zaadoptowane skale dla wyników badań od 1 do 3 w obu testach szybkości reakcji oraz teście koncentracji.

Tabela 3

Fragmencja tabeli przyporządkowanych skal dla wyników z Testu Reflex

Numer badania	Wyniki badań [s]					Σ SR
	A	B	C	D	E	
1	0	4	2	2	0	12
2	3	2	0	0	1	10
3	0	4	4	1	0	13
.....						
Average	0,91	1.36	0.91	1.00	1.09	

Tabela 4

Fragmencja tabeli przyporządkowanych skal w Teście Reflex 2 oraz Teście Koncentracji

Nr	Test Reflex 2 [s]				Test Koncentracji			Σ CT
	Wzrokowy	Słuchowy	Czuciowy	Σ SR2	Test 1	Test 2	Test 3	
1	0	1	3	4	0	2	0	2
2	1	1	0	2	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	2	2
.....								
\bar{x}	0.82	0.55	0.73		0.73	0.45	0.73	

Krok 5 – Obliczenie wskaźnika zmęczenia zgodnie ze wzorem. Ta sama operacja została wykonana dla każdego testu (od 1 do 11). Dokładne obliczenia przedstawiono na przykładzie badania nr 1:

$$TI = SR1 \cdot 0.4 + SR2 \cdot 0.3 + CT \cdot 0.3 \quad (1)$$

SR1 – suma przyporządkowanych skali w badaniu Reflex Test

$$SR1 = \sum w_A + w_B + w_C + w_D + w_E = 12 \quad (2)$$

$$SR2 = \sum w_w + w_s + w_d = 4 \quad (3)$$

SR2 – suma przyporządkowanych skali w badaniu Reflex Test 2

$$CT = \sum w_{P1} + w_{P2} + w_{P3} = 2 \quad (4)$$

CT – suma przyporządkowanych skali w badaniu Testem Koncentracji

$$TI = (SR1 \cdot 0.4) + (SR2 \cdot 0.3) + (CT \cdot 0.3) = 12 \cdot 0.4 + 4 \cdot 0.3 + 2 \cdot 0.3 = 6.6$$

W tabeli 5 przedstawiono uzyskany wskaźnik zmęczenia dla każdego przeprowadzonego badania – od 1 do 11.

Tabela 5

Wskaźnik zmęczenia dla każdego badania

Numer badania	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TI	6.6	4.6	6.1	1.5	2	5.4	2.8	5.9	7.1	2.4	4.2

Na podstawie określonego wskaźnika zmęczenia stworzono dwie charakterystyki. W pierwszym (rys. 6a) przedstawiono wskaźnik TI dla każdego badania. Jak można zauważyć największą wartość TI dotyczy 9 badania. Badania numer 1, 3, 6, 8, 9 miały jedne z największych spośród wszystkich badań. Linia trendu wskaźnika TI ma charakter zmniejszający. W celu odniesienia wyników badań do operacji lotniczych, podczas których były prowadzone, opracowano drugą charakterystykę.

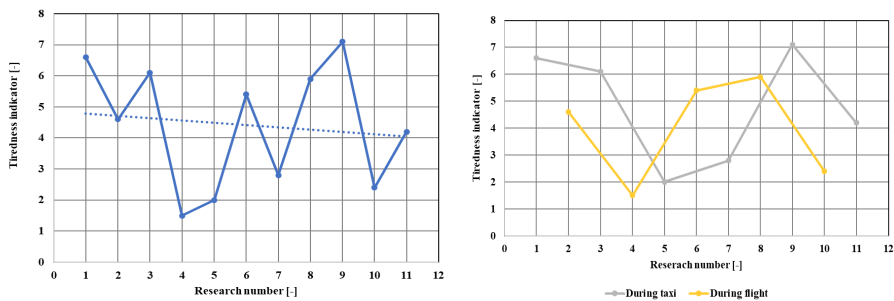


Fig. 6. Wskaźnik zmęczenia a) dla każdego badania (od 1 do 11); b) w zależności od operacji – podczas postoju oraz podczas przelotu

Analizując wykresy, można zauważyć pewną zmienność wartości Wskaźnika zmęczenia (rys. 6b). Na początku testów wskaźnik osiągnął dość dużą wartość w obu przypadkach – około 5 i 6,5. Potem zaczął gwałtownie zmniejszać się. W połowie cyklu badawczego, w przypadku postoju, wskaźnik osiągał małe wartości, natomiast duże podczas lotu. Nastąpiła zmiana w końcowej fazie testów. Testy wykonywane w locie charakteryzują się szybko zmniejszającą wartością, natomiast podczas postoju w końcowej fazie osiągnęły największą wartość wskaźnika – 7.

5. Wnioski i podsumowanie

W artykule opracowano wskaźnik zmęczenia pilota w oparciu o badanie koncentracji i szybkości reakcji. Badania pozwoliły na dokładną analizę i przygotowanie algorytmu wyznaczania Wskaźnika Zmęczenia. Analizując wyniki przeprowadzonych obliczeń, można zauważyć, że zgodnie z linią trendu charakterystyka TI zmniejsza się wraz

z postępowaniem badań. Na początku testów wskaźnik TI osiągał stosunkowo duże wartości w miarę ich postępu – podczas testów 4 i 5 znacznie się zmniejszył. W zebranych wynikach można też zaobserwować pewien powtarzający się wzorzec, którym jest przebieg wykresów (ich okresowość). Wynika to z wpływu drugiego badanego parametru, jakim jest monotonia. Przejawia się to w przerwach w aktywności (wzrost szybkości reakcji oraz procesów umysłowych, co prowadzi do zwiększenia zdolności koncentracji), ponadto pomiędzy tymi wzrostami następuje wyraźne i niebezpieczne zmniejszenie możliwości organizmu ludzkiego. Zagrożenie w przypadku monotonii, oprócz skutków zbliżonych do zmęczenia, takich jak: senność, zaburzenia pracy mózgu czy narządów zmysłów, przejawia się również w nagłych lukach w poziomie koncentracji. Ze względu na indywidualny charakter tych objawów trudno jest zdefiniować jednoznaczne zalecenia i opracować systemy przeciwdziałające zmęczeniu. Dlatego ważnym aspektem staje się współpraca członków załogi w celu wzajemnego kontrolowania się podczas wykonywanych zadań. W walce z monotonią pomocna jest rozmowa pilotów, dzięki czemu są oni mniej narażeni na cichą beczyność. Ponadto rozmowa pozwala zachować umysł w stanie zainteresowania i wzmożonej aktywności.

6. Literatura

1. Boril J., Jalovecky R.: Experimental Identification of Pilot Response Using Measured Data from a Flight Simulator. In: Iliadis L., Maglogiannis I., Papadopoulos H. (eds) Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer, vol. 381, Berlin, Heidelberg, 2012, DOI: 10.1007/978-3-642-33409-2_14.
2. Cameron N., Thomson D.G., Murray-Smith D.J.: Pilot modelling and inverse simulation for initial handling qualities assessment. *Aeronautical Journal*, 2003.
3. Carver J.C., Penzenstadler B., Serebrenik A., Yamashita A.: The Human Factor, *IEEE SOFTWARE*, vol. 34, iss. 5, 2017, DOI: 10.1109/MS.2017.3571580.
4. Cekan P., Korba P., Sabo J.: Human Factor in Aviation - Models Eliminating Errors. *Transport Means - Proceedings of the International Conference, 18th International Conference on Transport Means, Kaunas Univ Technol, Kaunas, Lithuania, 2014.*
5. Cokorilo O.: Human factor modelling for fast-time simulations in aviation. *Aircraft Engineering And Aerospace Technology*, vol. 85, iss. 5, 2013, DOI: 10.1108/AEAT-07-2012-0120.
6. Galant M., Merksiz J.: Analysis of the possibilities of using EEG in assessing pilots' psychophysical condition. *Sci. J. Silesian Univ. Technol. Ser. Transp.*, vol. 95, 2017.
7. Jalovecký R.: Man in the Aircraft Flight Control System. *Advances in Military Technology*, vol. 4, No. 1, June 2009.
8. Kołodziejczyk E.: Fatigue as a basic physiological regularity, 2012, <https://www.prawo.pl/kadry/zmeczenie-definicja,187188.html>

9. Kozuba J., Bondaruk A.: Flight simulator as an essential device supporting the process of shaping pilot's awareness. *Scientific Research & Education in the Air Force*, 1, 2014.
10. Kozuba J., Human factor – the role of flight simulator in aviation training. *Logistics*, 2011.
11. Łuczak A., Zużewicz K.: Drivers' tiredness and work safety. PIB, 2006.
12. Maciejewska M., Fuć P., Galant M., Kardach M.: Use of faultlessness indicator to rate human reliability in human – operating aircraft system. *Journal of KONBiN*, vol. 49, iss. 1, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0006.
13. Makarowski R., Smolicz T.: Human factor in flight operations, pub. *Adriana Aviation*, Kosowizna 2012.
14. Rao Vijay D., Balas-Timar D.: A Soft Computing Approach to Model Human Factors in Air Warfare Simulation System. *Innovations In Intelligent Machines-5: Computational Intelligence In Control Systems Engineering, Studies in Computational Intelligence*, 2014. DOI 10.1007/978-3-662-43370-6_5.
15. Regulation Of The Minister Of Infrastructure of 13 December 2002 on the working and rest time of aircraft crew members and air traffic controllers. Based on Article. 103 paragraphs. 4 of the Act of 3 July 2002 - Aviation Law (*Journal of Laws* No. 130, item 1112).