

Barbara MIKA, Katarzyna GRZEGORCZYK,
 Marta GALANT-GOŁĘBIEWSKA, Marta MACIEJEWSKA
 Poznan University of Technology (Politechnika Poznańska)

THE EFFECT OF THE FLIGHT EXPERIENCE ON THE VISUAL BEHAVIOR OF PILOTS – A PRELIMINARY STUDY

Wpływ doświadczenia lotniczego na zachowanie wzrokowe pilotów – badania pilotażowe

Abstract: *The eye tracking technique is increasingly used in the context of examining the method of processing visual information from instruments and displays located in the cockpit of an airplane. An important aspect is monitoring the pilot's visual behavior in the most difficult phase of the flight, which is the landing of the plane. Six people participated in the research, divided into three groups according to their experience. The subjects performed three landing approaches in various weather conditions. During the study, the visual behavior of the participants was recorded using the Pupil Invisible eye tracker. Based on the analysis of heatmaps and areas of interest, differences in the distribution and number of fixations in the visual field between pilots with different aviation experience were shown.*

Keywords: aviation safety, ILS approach, gaze behavior

Streszczenie: *Technika eye trackingu znajduje coraz szersze zastosowanie w kontekście badania sposobu przetwarzania informacji wizualnych z przyrządów i wyświetlaczy umieszczonych w kokpicie samolotu. Istotnym aspektem staje się monitorowanie zachowania wzrokowego pilota w najtrudniejszej fazie lotu, jaką jest lądowanie samolotu. W badaniach wzięło udział sześć osób, podzielonych względem doświadczenia na trzy grupy. Badani wykonywali trzy podejścia do lądowania w zróżnicowanych warunkach atmosferycznych. Podczas badania rejestrowano zachowanie wzrokowe uczestników przy wykorzystaniu eye trackera Pupil Invisible. Na podstawie analizy map ciepłych oraz obszarów zainteresowania wykazane zostały różnice w rozmieszczeniu oraz liczbie fiksacji w polu wizualnym pomiędzy pilotami o zróżnicowanym doświadczeniu lotniczym.*

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo lotnicze, podejście do lądowania, zachowanie wzrokowe

1. Introduction

Eye tracking is a technique used in various fields of science to track eye movement, eye focus, and pupil size. Based on eye tracking research, it can be stated which stimuli the operator pays attention to while operating the equipment, and which ones he ignores [13]. Eye tracking does not refer to the subjective feelings of the respondent. The technique provides quantitative measurement data referring to the psychophysical and neuropsychological processes accompanying the oculomotor reactions to the perceived stimuli from the environment [17]. There are many devices for measuring visual behavior on the market. There are two basic types of eye trackers: screen-based and mobile. The eye tracking technique is increasingly used in the context of examining the method of processing visual information from instruments and displays located in the cockpit of an airplane. Eye trackers are also used to examine the visual behavior of air traffic controllers during their work at the operating position [11]. Pilot research in simulator and real conditions showed a relationship between the visual behavior of the operator and his experience, workload or situational awareness [2, 6, 15, 23]. The pilots' experience is determined by the number of flight hours and the aviation licenses. The research by Lorenz et al. (2006) showed that expert pilots (from 3,000 to 10,300 of flight hours) were more likely to direct their eyes, observing the space outside the cockpit than novice pilots (from 13 to 500 of flight hours) [12]. Research by Bellenkes (1997) showed that flight instructors direct their eyes to a greater number of cockpit instruments and spend less time fixing on them compared to student pilots [1]. The increased involvement of the pilot's cognitive resources is characterized by a higher distribution of fixations on the cockpit elements that are within the pilot's sight. The researchers came to such conclusions based on the analysis of visual behavior of police pilots. The fixation distribution was higher during take-off phase and landing phase, lower in the climb phase and the lowest during the flight [23]. The research by van de Merwe and colleagues (2012) showed an increase in the entropy of fixation with the occurrence of the on-board instrument failure scenario, which presumably causes a greater task load of pilots [20]. Wickens and colleagues (2015) proposed a SEEV model based on the assumption that eye movements can be a direct indicator of situational attention [22]. Many studies have looked at the change in pupil diameter when performing aviation tasks. The research showed that the pupil diameter increased for the flight phases, subjectively assessed by pilots as difficult [9]. Li et al. (2013) showed that the pupil diameter of the expert pilots was larger when scanning the most important cockpit elements compared to pilots with a lower level of experience [10]. Considering that human is the most error-prone element of the MTE (man-technology-environment) system [7], an important aspect is therefore to monitor the behavior of the visual pilot during the performance of tasks in the cockpit, especially in the most difficult phases of flight, such as the approach and landing [7].

Landing, particularly in difficult weather conditions, can be a challenge even for experienced pilots. In order to ensure safety and facilitate this maneuver, radio navigational systems that support the control of the machine are used. One such system is the Instrument

Landing System (ILS) which supports instrument landing under low visibility conditions. The purpose of the ILS system is to provide accurate azimuth and descent guidance signals for aircraft to land on the runway. The system provides lateral and vertical guidance necessary to perform a precise approach [21]. There are two functional blocks in the system: a ground transmitter and an aircraft receiver. The ground equipment consists of ILS localiser and ILS glide-slope [19]. The line defined by the intersection of the signals from the localiser and glide-slope determines the approach path. Two or three signaling markers are located at specified distances from the runway threshold, which enable spot checking of the aircraft's position [19]. The basic on-board equipment are signal receivers from the localiser, glide path indicator receivers and marker receivers. Received signals are displayed on the instrument panel and present the pilot the position of the plane in relation to the runway. This allows the pilot to correct the course in order to be on the correct glide path. Due to the widespread use of ILS during the execution of the approach for landing and the growing popularity of the use of the eye tracking technique in research on the human factor, the article analyzes the visual behavior of pilots carrying out approaches to landing in changing weather conditions, using the ILS radio navigation system.

2. Research problem and research methodology

The research problem was defined as the differences in visual behavior between pilots with different flying experience during the approach for landing in changing weather conditions.

The study used the CKAS MotionSim5 FNPT flight simulator (Fig. 1a) and Pupil Invisible eye tracker (Fig. 1b). FNPT (Flight and Navigation Procedures Trainer) simulators are used in the process of training pilots in terms of procedures and pilotage. The instructor position enables to control the course of the flight and to simulate appropriate weather and environmental conditions [3]. The visualization system consists of three Full HD projectors that display the image on the screen continuously. There is a Garmin G1000 avionics set in the simulator's cabin. This kit includes two types of displays: PFD (Primary Flight Display) and MFD (Multifunctional Flight Display).

There are many devices for measuring visual behavior available on the market. There are two basic types of eye trackers: stationary and mobile. The stationary eye tracker is placed under or in front of the screen at an appropriate distance. The eye tracker records the visual behavior of the subject who interacts with information displayed on the monitor. Mobile eye trackers are portable devices, usually in the form of glasses worn over the eyes. They are used for research not only in laboratory but also in real environments. The choice of an eye tracker depends on the nature of the test performed. A device calibration process is required for reliable results. Pupil Invisible eye tracker is a device designed by Pupil Labs. Two cameras are installed in the frames to record the movement of the right and left eye and an infrared diode that provides adequate illumination of the visual organ [16]. During the survey, information is recorded by the Pupil Invisible Companion application. For this

reason, the eye tracker must be connected with a cable to the smartphone supporting the above application.



Fig. 1. CKAS MotionSim5 simulator and Pupil Invisible eye tracker

The research was carried out on a group of six people. The research group was divided into three categories depending on the level of experience. Group A (group of novices) consisted of people who did not have an aviation license but had basic knowledge and had previously used a flight simulator. Group B (intermediate group) included people with the Private Pilot License PPL(A). The first pilot had 30 of flight hours, the second pilot had 53 of flight hours. Group C (advanced group) was a person with a PPL(A) license with a flight time of 190 hours. This group also included a pilot with 120 flight hours.

The task was to make a landing using the ILS system. During the task, the participants had an eye tracker that records information about eye movement. Each of the subjects performed three instrument approaches in different weather conditions. The first landing was made in CAVOK conditions. This term describes atmospheric conditions where the visibility is 10 km or more, no clouds below 1500 m and no weather phenomena (e.g., rain, snow). During the second landing, there was fog over the airport, the conditions prevailing over the runway allowed for landing using the CAT I ILS system. This means that the runway visual range was not less than 550 m and the decision height not lower than 60 m, the weather conditions during this task were: 8/8 of sky covered, cloudy, the base of the clouds was 1190 ft (362.7 m), visibility was 50 m (about 30 km/h) and the average wind direction was 73°. In each of the above tasks, landing began 10 NM from the runway threshold at Warsaw Chopin Airport (ICAO: EPWA).

3. Analysis of the results

Based on the results obtained in the study, heatmaps and areas of interest were generated for each of the three stages of the study. The heatmaps were created using the variable: number of fixations. Four variables were taken into account in the AOI analysis: number of fixations, dwell time, and time to the first fixation and the number of revisits. There are four areas of interest: the Primary Flight Display area (PFD), the Multifunctional Display area (MFD), the analog instrument area, and the area outside the cockpit.

The first landing approach was made in very good weather conditions. In the advanced group (group C) of pilots, more fixations occurred in the area of navigational instruments than in the area outside the cockpit. The pilot looked mainly at the glideslope indicator, localizer indicator and airspeed indicator (Fig. 2a). The pilots in the intermediate group (group B) were more likely to revisit the PFD display area, observing the area outside the cockpit less frequently than the subjects from group A. A large focus of eyesight is noticeable on the edge of the dashboard (Fig. 2b). In the novice group (group A), the fixation distribution is more chaotic and divided between the area outside the cockpit, the PFD and the MFD (Fig. 2c).



Fig. 2. Heatmaps of pilots (a) expert, b) intermediate and c) novice) performing the first landing approach

The second approach was made in low visibility conditions. As in the first task, the subject from group C focused his eyes on three points: the glideslope indicator, the localizer indicator, and the attitude indicator (Fig. 3a). The distribution of the pilot's fixations from the intermediate group was less precise than that of the more experienced pilot. The pilot's eyesight was focused on the indicator that allowed to maintain altitude and on the airspeed indicator (Fig. 3b). Subject in group A, like the rest of the subjects, looked primarily at the PFD display. However, the novice heatmap does not show any precise eyesight focus. Moreover, the subject was directing his eyesight to the area outside the cockpit, despite the limited visibility (Fig.3c).

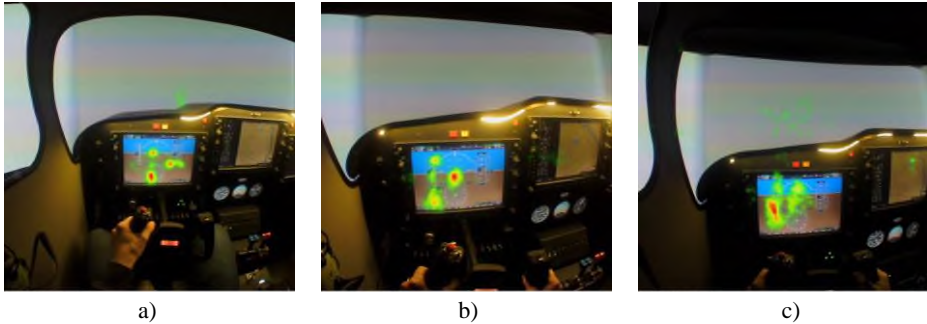


Fig. 3. Heatmaps of pilots (a) expert, b) intermediate and c) novice) performing the second landing approach

Visibility was very good during the third landing approach. The only phenomenon that hindered the approach was the wind blowing with a force of 16 kt from 73°. The pilot from group C shows the same fixation distribution as in the previous tasks. The participant looked primarily at the PFD display, especially at the localizer indicator (Fig. 4a). The pilot from group B fixed on the area outside the cockpit and on the PFD display. As during the first landing, the subject focused his eyes on the edge of the dashboard (Fig. 4b). The examined person from group A was looking towards the airport (Fig. 4c).

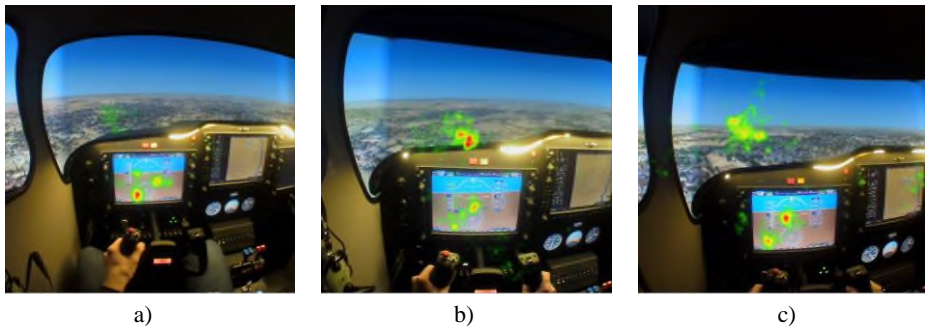


Fig. 4. Heatmaps of pilots (a) expert, b) intermediate and c) novice) performing the third landing approach

Table 1 presents the results of the average number of fixations for each of the three landing approaches. In the group of experts, the average number of fixations was the highest for the PFD display area regardless of the prevailing weather conditions. In the group of pilots with an average level of experience, the average number of fixations in the area of the PFD display was higher than in the area outside the cockpit during the first and second landing approach. In the third stage of the study, the pilots fixated longer outside the cockpit than in the PFD display area. On the first approach for landing, the average number of expert fixations in the MFD area was the highest. In the second stage of the study, the intermediate

pilots fixated the most in the MFD area. The average number of fixations on the MFD display was the highest in the novice group during the third landing approach. In the area of analog displays, there were single fixations in each of the three groups of respondents.

Table 1

Average number of fixations in the indicated areas of interest

	I landing approach			II landing approach			III landing approach		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	462	394	1192	1286	819	1526	592	205	1241
MFD	22	3	39	11	38	19	34	3	20
ANG	NA	0	1	3	1	NA	4	1	NA
OUT	929	133	568	156	20	207	845	325	556

Legend: PFD – Primary Flight Display, MFD – Multifunctional Flight Display,
ANG – analog display, OUT – area outside the cockpit, NA – not applicable

Table 2 shows the results of the average dwell time expressed in milliseconds. Among novices and intermediates, the average time of fixation in the PFD area was the highest during the second landing approach. In the group of experts, the mean fixation time in the area of the PFD display reached similar values at all three stages of the study. Average dwell time of pilots with an average level of experience in the area of MFD display was the highest at the second stage of the study. Among novices, the average fixation time was higher in the first and third stage of the study than in the second stage task. Average fixation time during the first and third approach to landing in the area outside the cockpit was higher than during the second landing approach.

Table 2

Average dwell time of fixations in the indicated areas of interest

	I landing approach			II landing approach			III landing approach		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	23818	5843 1	20462 9	243007	115476	245477	85393	32344	197740
MFD	4424	261	5588	1989	5229	2554	6380	302	3043
ANG	NA	33	84	793	80	NA	467	186	NA
OUT	17603 3	2098 5	11419 1	28420	2116	27802	150871	57064	95943

Legend: PFD – Primary Flight Display, MFD – Multifunctional Flight Display,
ANG – analog display, OUT – area outside the cockpit, NA – not applicable

Table 3 shows the results of the mean times to first fixation (TTFF) expressed in milliseconds. During the first approach to landing, the shortest average time to first fixation of novices and intermediate pilots was on the area outside the cockpit. The average time to first fixation of experts was the shortest for the PFD area. The longest average TTFF was

achieved for the MFD multifunctional display in all the tested groups. On the second approach for landing, the shortest average TTFF in all study groups occurred for the PFD area. In the group of novice pilots, TTFF was the longest for the MFD display. TTFF of intermediate and expert pilots was the longest for the area outside the cockpit. On the third approach, the shortest average time to first fixation of novice pilots was on the area outside the cockpit. In the case of the intermediate group of pilots and experts, the shortest average time to the first fixation occurred on the PFD area.

Table 3

Average time to first fixation in the indicated areas of interest

	I landing approach			II landing approach			III landing approach		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	1160	4092	154	727	300	1702	892	5669	353
MFD	75831	182520	18839	92791	30007	52797	71909	22709	50190
ANG	NA	157334	4519	26349	104004	NA	84610	132931	NA
OUT	169	2359	12534	7768	399780	192395	593	13972	3035

Legend: PFD – Primary Flight Display, MFD – Multifunctional Flight Display,
ANG – analog display, OUT – area outside the cockpit, NA – not applicable

Table 4 presents the results of the average number of revisits in the selected areas of interest. On the first and third approach, study participants most often returned to the main PFD display area and to the area outside the cockpit. In the group of experts, the number of revisits was the highest. In the second task, subjects returned to the PFD area more often than to the area outside the cockpit. As in the first stage, also in the second and third stage of the study, aviation experts the most often visited the PFD display area and the outside the cockpit.

Table 4

Average number of revisits in the indicated areas of interest

	I landing approach			II landing approach			III landing approach		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	73	54	105	23	25	35	77	51	118
MFD	1	1	10	1	12	9	3	0	6
ANG	NA	0	0	1	0	NA	0	0	NA
OUT	66	31	101	16	7	33	80	53	109

Legend: PFD – Primary Flight Display, MFD – Multifunctional Flight Display,
ANG – analog display, OUT – area outside the cockpit, NA – not applicable

4. Discussion

Based on the analysis of heatmaps and areas of interest, differences in the distribution and number of fixations in the visual field between pilots with different aviation experience were shown.

Experts' heatmaps were characterized by a greater concentration of fixations on specific elements of the cockpit than novice heatmaps. Performing ILS approach, pilots characterized by a greater level of aviation experience, use more effective methods of scanning the space outside and inside the cockpit. For pilots with an intermediate level of experience, the presence of fixation on the edge of the dashboard may be due to their strategy for Visual Flight Rules (VFR). During VFR flights, pilots direct their eyes to the tabletop in order to align the edge with the horizon, which allows them to maintain altitude.

The main PFD display is the basic source of information about flight parameters, regardless of the pilots' experience level and the prevailing weather conditions. Aviation novices also look for visual cues outside the cockpit. They do not have such advanced piloting skills, so they try to control the plane by observing the space outside the cockpit.

The ILS approach requires pilots to obtain information about the aircraft mainly from the instruments in the cockpit. During landing approach in worse weather conditions, novices spent more time looking at the main PFD area, less time at the MFD area and outside the cockpit. Limited visibility induces inexperienced operators to observe the basic parameters from the PFD display, thus increasing their cognitive load, understood as the ratio of the resources required to perform a task, to the amount of cognitive resources available. The observation of an additional information source in the form of the MFD display could lead to a significant overload of the operator's cognitive system, which confirms the shorter observation time of this display during the execution of the second stage task, compared to the other stages of the study. In addition, a longer fixation time in the PFD area may suggest that aviation novices needed more time for perceiving and processing of information displayed on the instruments. Pilots with intermediate level of experience spent more time in the area of PFD and MFD, and less time outside the cockpit when landing in poor weather conditions. Operators belonging to this group gained experience by performing visual flights. Performing the instrument approach could change the cockpit space scanning strategy and at the same time increase the fixation time in the PFD and MFD area. The deterioration of the weather conditions did not change the fixation time within the primary flight display, which may be the evidence on the development of constant strategies for scanning cockpit instruments in the PFD display area.

The average time to first fixation was the longest for the MFD multifunctional flight display area for all subjects. These results indicate that the pilots first monitored basic flight parameters and space outside the cockpit, only later did they look at the MFD display. During the ILS approach, the pilots initially fixated on the main PFD flight display area. The obtained results confirm that the PFD display is the main source of information about the flight in conditions of limited visibility.

The research showed that experts achieved the highest revisit in the selected areas of interest. Pilots with more aviation experience develop cockpit scanning strategies that are characterized by a greater frequency of returning their eyesight to the on-board instruments displaying information about the course of the flight.

Regardless of the level of experience, the subjects had occasional fixations in the area of analog devices. Information obtained from the analog displays are identical to the data presented on the primary flight display (PFD). Pilots use analog displays less frequently due to the time-consuming data acquisition process.

The eye tracking technique can be successfully used in the research of pilots with various aviation experience. Further testing is required with an increased sample size and with additional areas of interest within the main PFD flight display. Approach requires a large involvement of the pilot's cognitive resources for landing, the development of effective airspace scanning strategies in order to obtain information about the state of the aircraft is therefore a key element of flight safety.

In further analyzes, other eye tracking parameters should be taken into account, such as the speed of saccade movements, eye pupil diameter, blinking frequency or indicators related to eye closure (PERCOLOS, ECD) [5]. The aforementioned parameters allow the assessment of the level of fatigue, stress and cognitive load [23]. In addition, the tests should also take into account other methods to assess the psychophysical state of the operator, such as: electroencephalography (EEG), electrocardiography (EKG) or measurement of galvanic skin reaction (GSR). Depending on the studied phenomena, the analyzes of the results of the above-mentioned methods are often supplemented by the results obtained with the use of subjective methods. For example, in the study of the task load of pilots, apart from the analysis of visual behavior, the NASA-TLX questionnaire is used [4].

Particular attention should also be paid to the use of visual behavior analysis in aviation training. In 2013, Robinski and Stein, conducted research on experienced and inexperienced pilots of military helicopters, proposed using the eye tracking technique to provide operators with feedback on their visual cockpit scanning techniques [17]. Other studies have shown that different training experience has an influence on the development of different spatial scanning patterns. The researchers indicated that it is therefore important to take these differences into account when designing training programs [14].

The analysis of visual behavior in aviation training can be carried out with the use of longitudinal research. The essence of this type of experiment is to observe the changes taking place in the subjects over time [8]. The research could provide answers in terms of the impact of individual stages of flight training on the method of scanning the cockpit space, and with a statistically significant relationship, to its characteristics.

The process of recruiting air traffic controllers (ATC) is based on the verification of their level of cognitive functioning. Achieving high results in cognitive tests allows to determine whether the candidate has the predispositions enabling him to successfully complete aviation training, obtain a license and work in the ATC profession. The eye tracking technique could be used to assess the predisposition to perform the profession of a pilot or air traffic controller.

5. References

1. Bellenkes A. H., Wickens C. D., Kramer A. F.: Visual scanning and pilot expertise: The role of attentional flexibility and mental model development. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68, 1997.
2. Bos J. E., Bles W., De Graaf B.: Eye movements to yaw, pitch, and roll about vertical and horizontal axes: Adaptation and motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2002.
3. CKAS Mechatronics, CKAS MotionSim5 FSTD Operations Manual. Australia, 2015.
4. Di Nocera F., Camilli M., Terenzi M.: A random glance at the flight deck: Pilots' scanning strategies and the real-time assessment of mental workload. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making* 2007.
5. Dziuda Ł., Baran P., Zieliński P., Murawski K., Dziwoszcz M., Krej M., Piotrowski M., Stablewski R., Wojdas A., Strus W., Gasiul H., Kosobudzki M., Bortkiewicz, A.: Evaluation of a Fatigue Detector Using Eye Closure-Associated Indicators Acquired from Truck Drivers in a Simulator Study. *Sensors* 2021.
6. Galant-Gołębiewska M., Maciejewska M., Zawada M.: Analysis of Pilot's Cognitive Overload Changes during the Flight. *Advances in Military Technology* 2020.
7. Human Performance and Limitations. ATPL Ground Training Series. CAE Oxford Aviation Academy 2014.
8. John O.P., Pervin L.A.: Osobowość. Teoria i badania 2002.
9. Krebs M. J., Wingert J. W.: Cunningham T., Exploration of an oculometer-based model of pilot workload. NASA Contract Report 145153 1977.
10. Li W.C., Chiu F.C., Kuo Y.S., Wu K. J.: The investigation of visual attention and workload by experts and novices in the cockpit. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Applications and Services*. Springer: Berlin Heidelberg 2013.
11. Li W.C., Kearney P., Braithwaite G., Lin J.: How much is too much on monitoring tasks? Visual scan patterns of single air traffic controller performing multiple remote tower operations, *International Journal of Industrial Ergonomics* 2018.
12. Lorenz B., Biella M., Teegen U., Stelling D., Wenzel J., Jakobi J., Korn B.: Performance, situation awareness, and visual scanning of pilots receiving onboard taxi navigation support during simulated airport surface operation. *Human Factors and Aerospace Safety*, 6, 2006.
13. Marecka A.: Istota badań pomiarowych z wykorzystaniem narzędzi Eye-tracking. *Zeszyty Naukowe WSP nr 3/2017 Technologie. Procesy. Bezpieczeństwo*. Wyższa Szkoła Promocji, Mediów i Show Businessu, Warszawa 2018.
14. Ottati W.L., Hickox J.C., Richter J.: Eye scan patterns of experienced and novice pilots during visual flight rules (VFR) navigation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 43rd Annual Meeting* 1999.
15. Peißl S., Wickens C., Baruah, R.: Eye-Tracking Measures in Aviation: A Selective Literature Review. *The International Journal of Aerospace Psychology* 2018.
16. Pupil labs. [online]. Dostępne na: <https://pupil-labs.com>. Data uzyskania dostępu: 21.05.2021.

17. Robinski M., Stein M.: Tracking visual scanning techniques in training simulation for helicopter landing. *Journal of Eye Movement Research* 2013.
18. Rojna W.: Eye tracking. Metodologia i jej zastosowania w badaniach percepcji reklamy i zachowań konsumentów. IV Ogólnopolski Kongres Badaczy Rynku i Opinii, Warszawa 2003.
19. Shrivastava S., Verma R.: Instrument landing system and its requirement in India. Amity University, Noida 2020.
20. Van de Merwe K., Dijk H., Zon R.: Eye movements as an indicator of situational awareness in a flight simulator experiment. *The International Journal of Aviation Psychology* 2012.
21. *What is an ILS and its different component?* [online]. Dostępne na: <https://www.aai.aero/en/content/what-ils-and-its-different-component>. Data uzyskania dostępu 20.10.2021
22. Wickens C.D.: Noticing events in the visual workplace: The SEEV and NSEEV models. In R. R. Hoffman, P. A. Hancock, M. W. Scerbo, R. Parasuraman, & J. L. Szalma (Eds.), *The Cambridge handbook of applied perception research*, Vol. 2, Cambridge University Press 2015.
23. Ziv G.: Gaze Behavior and visual attention: A review of eye tracking studies in aviation. *The International Journal of Aviation Psychology* 2016.

WPLYW DOŚWIADCZENIA LOTNICZEGO NA ZACHOWANIE WZROKOWE PILOTÓW – BADANIA PILOTAŻOWE

1. Wprowadzenie

Okulografia to technika stosowana w różnych dziedzinach nauki, w celu śledzenia ruchu gałek ocznych, punktu skupienia wzroku oraz rozmiaru źrenicy. Na podstawie badań okulograficznych można stwierdzić, na jakie bodźce zwraca uwagę operator w trakcie obsługiwanego sprzętu, a jakie pomija [13]. Eye tracking nie odwołuje się do subiektywnych odczuć respondenta. Technika dostarcza ilościowych danych pomiarowych, odwołując się do procesów psychofizycznych i neuropsychologicznych towarzyszących reakcjom okoruchowym na odbierane bodźce z otoczenia [18]. Technika eye trackingu znajduje coraz szersze zastosowanie w kontekście badania sposobu przetwarzania informacji wizualnych z przyrządów i wyświetlaczy umieszczonych w kokpicie samolotu. Okulografy wykorzystywane są również do badania zachowania wzrokowego kontrolerów ruchu lotniczego w czasie ich pracy na stanowisku operacyjnym [11]. Badania pilotów w warunkach symulatorowych oraz rzeczywistych wykazały związek pomiędzy zachowaniem wzrokowym operatora a jego doświadczeniem, obciążeniem zadaniowym czy świadomością sytuacyjną [2, 6, 15, 23]. Doświadczenie pilotów określane jest poprzez liczbę godzin nalogu oraz posiadane licencje lotnicze i uprawnienia. W badaniach Lorenza i współpracowników (2006) wykazano, iż piloci-eksperci (od 3 000 do 10 300 godzin nalogu) częściej kierowali wzrok, obserwując przestrzeń na zewnątrz kokpitu niż robili to piloci-nowicjusze (od 13 do 500 godzin nalogu) [12]. Badania Bellenkesa (1997) wykazały, że instruktorzy lotniczy kierują wzrok na większą liczbę instrumentów pokładowych i jednocześnie spędzają mniej czasu, fiksując na nie w porównaniu do uczniów-pilotów [1]. Zwiększone zaangażowanie zasobów poznawczych pilota charakteryzuje się szerszym rozmieszczeniem fiksacji na elementach kokpitu będących w zasięgu wzroku pilota. Do takich wniosków doszli badacze na podstawie analizy zachowania wzrokowego pilotów policyjnych. Rozkład fiksacji był wyższy w fazie startu oraz lądowania statku powietrznego, niższy w fazie wznoszenia oraz najniższy w fazie lotu [23]. Badania van de Merwe i współpracowników (2012) wykazały wzrost entropii fiksacji wraz z zaistnieniem scenariusza awarii przyrządów pokładowych, co przypuszczalnie powoduje większe obciążenie zadaniowe pilotów [20]. Wickens wraz ze współpracownikami (2015) zaproponowali autorski model SEEV, opierający się na założeniu, że ruchy gałek ocznych mogą być bezpośrednim wskaźnikiem uwagi sytuacyjnej [22]. Wiele badań analizowało zmianę średnicy źrenicy podczas wykonywania zadań lotniczych. Badania wykazały, iż średnica źrenicy wzrosła dla faz lotu subiektywnie ocenianych przez pilotów jako trudne [9]. Li i współpracownicy (2013) wykazali, że średnica źrenicy pilotów-ekspertów była

większa podczas skanowania najistotniejszych elementów kokpitu w porównaniu z pilotami z mniejszym doświadczeniem [10]. Biorąc pod uwagę, iż człowiek jest najbardziej narażonym na błędy elementem układu MTE (ang. *man-technology-environment*) [7], istotnym aspektem jest zatem monitorowanie zachowania wzrokowego pilota w czasie wykonywania zadań w kokpicie, szczególnie w najtrudniejszych fazach lotu, jakimi są podejście do lądowania oraz lądowanie samolotu [7].

Lądowanie, szczególnie w niesprzyjających warunkach atmosferycznych, może stanowić wyzwanie nawet dla doświadczonych pilotów. W celu zapewnienia bezpieczeństwa oraz ułatwienia tego manewru stosuje się systemy radiotechniczne, które wspomagają kontrolowanie maszyny. Takim systemem jest ILS (ang. *Instrument Landing System*), wspomagający lądowanie według wskazań przyrządów, w warunkach ograniczonej widzialności pasa. Zadaniem systemu ILS jest dostarczanie dokładnych sygnałów prowadzenia azymutu i zniżania dla naprowadzania statku powietrznego do lądowania na pasie startowym. System zapewnia boczne i pionowe prowadzenie niezbędne do wykonania precyzyjnego podejścia [21]. W systemie są dwa bloki funkcjonalne: naziemny nadajnik oraz element odbiornika, który znajduje się na statku powietrznym. Sprzęt naziemny składa się z umieszczonych na pasie startowym radiolatarni kierunkowej (nadajnik sygnału kierunku) oraz radiolatarni ścieżki schodzenia (nadajnik sygnału ścieżki schodzenia) [19]. Linia wyznaczona przez przecięcie sygnałów z radiolatarni kierunkowej i radiolatarni ścieżki schodzenia określa ścieżkę podejścia w przestrzeni powietrznej. W określonych odległościach od progu drogi startowej umieszczone są dwie lub trzy radiolatarnie sygnalizujące (markery), umożliwiające punktowe sprawdzenie pozycji samolotu [19]. Podstawowym wyposażeniem pokładowym są odbiorniki sygnałów z lokalizatora, odbiorniki wskaźników ścieżki schodzenia oraz odbiorniki markerów. Odbierane sygnały wyświetlane są na tablicy rozdzielczej i prezentują pilotowi położenie samolotu względem pasa startowego. Dzięki temu pilot może dokonywać korekty kursu, aby znaleźć się na właściwej ścieżce schodzenia. Ze względu na powszechne wykorzystanie systemu ILS podczas wykonywania podejścia do lądowania oraz rosnącą popularność zastosowania techniki eye trackingu w badaniach nad czynnikiem ludzkim, w artykule podjęto się analizy zachowania wzrokowego pilotów realizujących podejścia do lądowania w zmiennych warunkach atmosferycznych, przy użyciu radiowego systemu nawigacyjnego ILS.

2. Problem badawczy i metoda badawcza

Jako problem badawczy określono różnice w zachowaniu wzrokowym pomiędzy pilotami o zróżnicowanym doświadczeniu lotniczym w czasie wykonywania podejścia do lądowania w zmiennych warunkach atmosferycznych.

W badaniu wykorzystano symulator lotu CKAS MotionSim5 typu FNPT (rys. 1a) oraz eye tracker Pupil Invisible (rys. 1b). Symulatory FNPT (ang. *Flight and Navigation Procedures Trainer*) wykorzystywane są w procesie szkolenia pilotów w zakresie procedur i pilotażu. Stanowisko instruktorskie umożliwia kontrolę nad przebiegiem lotu oraz

symulowanie odpowiednich warunków atmosferycznych i środowiskowych [3]. System wizualizacji składa się z trzech projektorów Full HD, które wyświetlają obraz na ekran w sposób ciągły. W kabinie symulatora znajduje się zestaw awioniki typu Garmin G1000. W skład tego zestawu wchodzi dwa rodzaje wyświetlaczy: główny wyświetlacz lotu PFD (ang. *Primary flight display*) oraz wielofunkcyjny wyświetlacz lotu MFD (ang. *Multifunction flight display*).

Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń do pomiaru zachowania wzrokowego. Wyróżnia się dwa podstawowe typy okulografów: stacjonarne oraz mobilne. Okulograf stacjonarny umieszczany jest pod lub przed ekranem w odpowiedniej odległości. Eye tracker rejestruje zachowanie wzrokowe osoby badanej, która wchodzi w interakcję z wyświetlanymi na monitorze informacjami. Mobilne eye trackery to urządzenia przenośne, przeważnie w formie okularów. Znajdują zastosowanie do badań nie tylko w środowiskach laboratoryjnych, ale też rzeczywistych. Wybór eye trackera zależy od charakteru przeprowadzanego badania. W celu uzyskania rzetelnych wyników wymagany jest proces kalibracji urządzenia. Eye tracker Pupil Invisible to urządzenie zaprojektowane przez firmę Pupil Labs. W oprawkach okulografu umieszczone zostały dwie kamery, rejestrujące ruch prawego i lewego oka oraz dioda podczerwieni zapewniająca odpowiednie oświetlenie narządu wzrokowego [16]. Podczas prowadzenia badania informacje rejestrowane są przez aplikację Pupil Invisible Companion. Z tego powodu okulograf musi być podłączony za pomocą przewodu do smartfonu obsługującego powyższą aplikację.



a)



b)

Rys. 1. Symulator CKAS MotionSim5 oraz eye tracker Pupil Invisible

Badania przeprowadzono na grupie sześciu osób. Grupę badawczą podzielono na trzy kategorie w zależności od poziomu doświadczenia. Grupę A (grupa nowicjuszy) stanowiły osoby, które nie posiadają licencji lotniczej, ale mają podstawową wiedzę i korzystały wcześniej z symulatora lotu. Do grupy B (grupa średniozaawansowanych) należały osoby posiadające licencję pilota samolotowego turystycznego PPL(A). Pierwszy z pilotów miał nalot w wysokości 30 godzin, drugi z pilotów wylatał 53 godziny. Grupę C (grupę

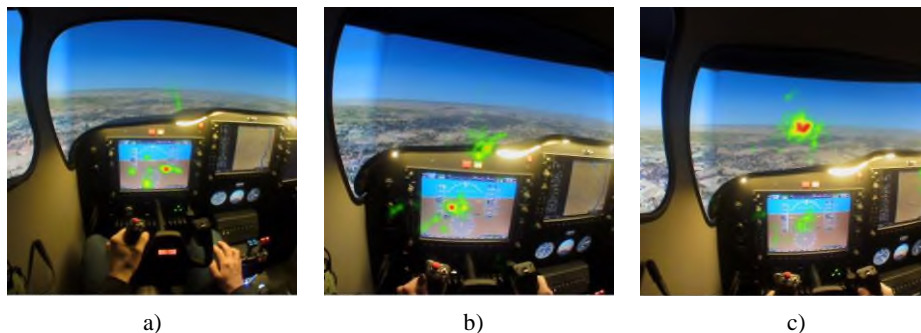
zaawansowanych) stanowiły osoba posiadająca licencję PPL(A) z nalotem 190 godzin oraz pilot z nalotem 120 godzin.

Zadanie polegało na wykonaniu lądowania przy użyciu systemu ILS. Podczas wykonywania zadania uczestnicy mieli założony eye tracker, rejestrujący informacje o ruchu gałek ocznych. Każda z osób badanych wykonywała trzy podejścia do lądowania według wskazań przyrządów, w zmiennych warunkach atmosferycznych. Pierwsze lądowanie wykonane zostało w warunkach CAVOK. Określenie to opisuje warunki atmosferyczne, w których widzialność wynosi 10 km lub więcej, brak chmur poniżej 1500 m oraz nie występują zjawiska pogodowe (np. opady deszczu, śniegu). Podczas drugiego lądowania nad lotniskiem utrzymywała się mgła, warunki panujące nad pasem drogi startowej pozwalały na wykonanie lądowania z wykorzystaniem systemu ILS kategorii CAT I. Oznacza to, że zasięg widzenia wzdłuż drogi startowej był nie mniejszy niż 550 m oraz wysokość decyzji była większa bądź równa 60 m, warunki atmosferyczne podczas tego zadania to: zachmurzenie na poziomie *overcast* 8/8, pełne zachmurzenie, podstawa chmur była na wysokości 1190 ft, czyli 362,7 m, widzialność wynosiła 50 m. Badani wykonywali trzecie lądowanie przy wietrze wiejącym z prędkością 16 kt (ok. 30 km/h), a średni kierunek wiatru wynosił 73°. W każdym z powyższych zadań lądowanie rozpoczynało się w osi pasa drogi startowej, w odległości 10 NM od progu pasa drogi startowej 33 Lotniska Chopina w Warszawie (ICAO: EPWA).

3. Analiza wyników

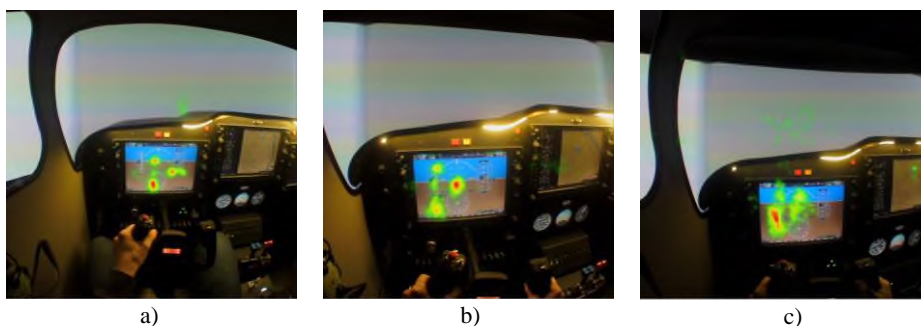
Na podstawie uzyskanych w badaniu wyników wygenerowane zostały mapy cieplne oraz obszary zainteresowania, dla każdego z trzech etapów badania. Mapy cieplne sporządzono z wykorzystaniem zmiennej: liczby fiksacji. W analizie obszarów zainteresowania uwzględniono cztery zmienne: liczbę fiksacji, czas fiksacji, czas do pierwszej fiksacji oraz liczbę rewizyt. Wyróżnione zostały cztery obszary zainteresowania: obszar głównego wyświetlacza lotu (PFD), obszar wyświetlacza wielofunkcyjnego (MFD), obszar przyrządów analogowych oraz obszar na zewnątrz kokpitu.

Pierwsze podejście do lądowania wykonywane było w bardzo dobrych warunkach atmosferycznych. W grupie zaawansowanych (grupa C) pilotów, więcej fiksacji występuje w obszarze przyrządów nawigacyjnych niż na obszarze poza kabiną. Pilot patrzył przede wszystkim na wskaźnik ścieżki schodzenia, wskaźnik lokalizatora oraz na prędkość lotu (rys. 2a). Piloci z grupy średniozaawansowanej (grupa B) częściej powracali wzrokiem do wyświetlacza PFD, rzadziej obserwując obszar poza kabiną niż badani z grupy A. Zauważalne jest duże skupienie wzroku na krawędzi deski rozdzielczej (rys. 2b). W grupie nowicjuszy (grupa A) rozłożenie fiksacji jest bardziej chaotyczne i podzielone pomiędzy obszarem na zewnątrz kokpitu, ekranem PFD oraz ekranem MFD (rys. 2c).



Rys. 2. Mapy ciepłe pilotów: a) eksperta, b) średniozaawansowanego oraz c) nowicjusza, wykonujących pierwsze podejście do lądowania

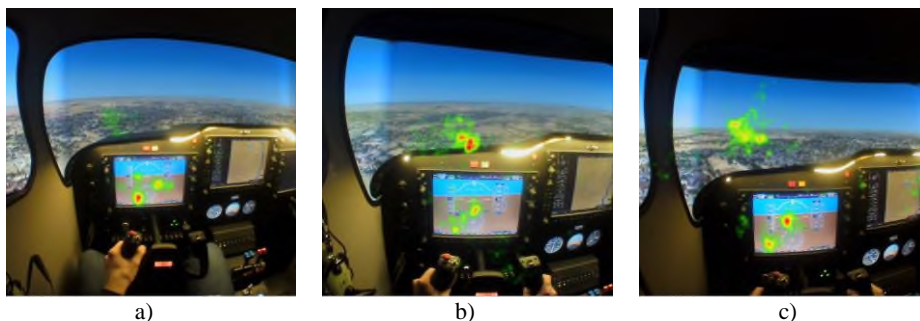
Drugie podejście do lądowania wykonywane było w warunkach ograniczonej widzialności. Podobnie jak w pierwszym zadaniu, badany z grupy C kierował swój wzrok na trzy punkty: wskaźnik ścieżki schodzenia, wskaźnik lokalizatora oraz wskaźnik pokazujący wyrównanie z horyzontem (rys. 3a). Rozłożenie fiksacji pilota z grupy średniozaawansowanej było mniej precyzyjne niż u pilota z większym doświadczeniem. Wzrok pilota kierowany był na wskaźnik pozwalający utrzymać poziomy lot oraz na wskaźnik prędkości lotu (rys. 3b). Badany z grupy A, podobnie jak pozostali badani, patrzył przede wszystkim na wyświetlacz PFD. Jednakże, na mapie ciepłej nowicjusza nie są widoczne precyzyjne punkty skupienia wzroku. Ponadto, badany kierował swój wzrok na obszar poza kabiną pilota, pomimo ograniczonej widzialności (rys. 3c).



Rys. 3. Mapy ciepłe pilotów: a) eksperta, b) średniozaawansowanego oraz c) nowicjusza, wykonujących drugie podejście do lądowania

Podczas trzeciego podejścia do lądowania widoczność była bardzo dobra. Jedynym zjawiskiem utrudniającym podejście był wiatr wiejący z siłą 16 kt z kierunku 73°. U pilota z grupy C widać analogiczne rozłożenie fiksacji jak w poprzednich zadaniach. Uczestnik badania patrzył przede wszystkim na wyświetlacz PFD, szczególnie na wskaźnik lokalizatora (rys. 4a). Pilot z grupy B fiksował na obszar poza kabiną oraz na główny

wyświetlacz lotu PFD. Podobnie jak podczas pierwszego lądowania, badany kierował wzrok na krawędź deski rozdzielczej (rys. 4b). Osoba badana z grupy A patrzyła w kierunku lotniska (rys. 4c).



Rys. 4. Mapy ciepłe pilotów: a) eksperta, b) średniozaawansowanego oraz c) nowicjusza, wykonujących trzecie podejście do lądowania

W tabeli 1 zaprezentowane zostały wyniki średniej liczby fiksacji dla każdego z trzech podejść do lądowania. W grupie ekspertów średnia liczba fiksacji była najwyższa dla obszaru wyświetlacza PFD niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. W grupie pilotów o średnim poziomie doświadczenia średnia liczba fiksacji w obszarze wyświetlacza PFD była wyższa niż w obszarze na zewnątrz kokpitu podczas pierwszego i drugiego podejścia do lądowania. Na trzecim etapie badania piloci fiksowali dłużej na zewnątrz kokpitu niż w obszarze wyświetlacza PFD. Podczas pierwszego podejścia do lądowania średnia liczba fiksacji ekspertów w obszarze wyświetlacza MFD była największa. Na drugim etapie badania średniozaawansowani piloci fiksowali najwięcej w obszarze MFD. Średnia liczba fiksacji na wyświetlaczu MFD była największa w grupie nowicjuszy podczas wykonywania trzeciego podejścia do lądowania. W obszarze wyświetlaczy analogowych wystąpiły pojedyncze fiksacje w każdej z trzech grup osób badanych.

Tabela 1

Średnia liczba fiksacji w wyróżnionych obszarach zainteresowania

	I podejście do lądowania			II podejście do lądowania			III podejście do lądowania		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	462	394	1192	1286	819	1526	592	205	1241
MFD	22	3	39	11	38	19	34	3	20
ANG	NA	0	1	3	1	NA	4	1	NA
OUT	929	133	568	156	20	207	845	325	556

Legenda: PFD – główny wyświetlacz lotu, MFD – wielofunkcyjny wyświetlacz lotu,
 ANG – przyrządy analogowe, OUT – obszar na zewnątrz kokpitu, NA – brak danych

W tabeli 2 przedstawione zostały wyniki średnich czasów fiksacji wyrażone w milisekundach. Wśród nowicjuszy oraz średniozaawansowanych średni czas fiksacji w obszarze wyświetlacza PFD był najwyższy podczas wykonywania drugiego podejścia do lądowania. W grupie ekspertów średni czasu fiksacji w obszarze wyświetlacza PFD osiągał podobne wartości na wszystkich trzech etapach badania. Średni czas fiksacji pilotów o średnim poziomie doświadczenia w obszarze wyświetlacza MFD był najwyższy na drugim etapie badania. Wśród nowicjuszy średni czas fiksacji był wyższy na pierwszym i trzecim etapie badania niż w czasie wykonywania zadania drugiego etapu. Podczas wykonywania pierwszego oraz trzeciego podejścia do lądowania średni czas fiksacji w obszarze na zewnątrz kokpitu był wyższy niż podczas drugiego podejścia do lądowania.

Tabela 2

Średni czas fiksacji w wyróżnionych obszarach zainteresowania

	I podejście do lądowania			II podejście do lądowania			III podejście do lądowania		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	23818	5843 1	20462 9	243007	115476	245477	85393	32344	197740
MFD	4424	261	5588	1989	5229	2554	6380	302	3043
ANG	NA	33	84	793	80	NA	467	186	NA
OUT	17603 3	2098 5	11419 1	28420	2116	27802	150871	57064	95943

Legenda: PFD – główny wyświetlacz lotu, MFD – wielofunkcyjny wyświetlacz lotu,
ANG – przyrządy analogowe, OUT – obszar na zewnątrz kokpitu, NA – brak danych

W tabeli 3 przedstawione zostały wyniki średnich czasów do pierwszej fiksacji (TTFF) wyrażone w milisekundach. Podczas pierwszego podejścia do lądowania, najkrótszy średni czas do pierwszej fiksacji nowicjuszy oraz średniozaawansowanych wystąpił dla obszaru na zewnątrz kokpitu. Średni czas do pierwszej fiksacji ekspertów był najkrótszy dla obszaru głównego wyświetlacza lotu. Najdłuższy średni TTFF został osiągnięty dla wyświetlacza wielofunkcyjnego MFD we wszystkich badanych grupach. Przy drugim podejściu do lądowania, najkrótszy średni TTFF we wszystkich grupach badanych wystąpił dla obszaru PFD. W grupie nowicjuszy TTFF był najdłuższy dla wyświetlacza MFD. TTFF średniozaawansowanych i ekspertów był najdłuższy dla obszaru na zewnątrz kokpitu. Podczas trzeciego podejścia do lądowania, najkrótszy średni czas do pierwszej fiksacji nowicjuszy wystąpił dla obszaru na zewnątrz kokpitu. W przypadku grupy średniozaawansowanych oraz ekspertów najkrótszy średni czas do pierwszej fiksacji wystąpił dla obszaru PFD.

Tabela 3**Średni czas do pierwszej fiksacji w wyróżnionych obszarach zainteresowania**

	I podejście do lądowania			II podejście do lądowania			III podejście do lądowania		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	1160	4092	154	727	300	1702	892	5669	353
MFD	75831	182520	18839	92791	30007	52797	71909	22709	50190
ANG	NA	157334	4519	26349	104004	NA	84610	132931	NA
OUT	169	2359	12534	7768	399780	192395	593	13972	3035

Legenda: PFD – główny wyświetlacz lotu, MFD – wielofunkcyjny wyświetlacz lotu,
ANG – przyrządy analogowe, OUT – obszar na zewnątrz kokpitu, NA – brak danych

W tabeli 4 przedstawione zostały wyniki średniej liczby rewizyt w wyróżnionych obszarach zainteresowania. W pierwszym oraz trzecim podejściu do lądowania uczestnicy badania najczęściej powracali do obszaru głównego wyświetlacza lotu PFD oraz do obszaru na zewnątrz kokpitu. W grupie ekspertów liczby rewizyt osiągały najwyższe wartości. W drugim zadaniu badani częściej powracali do obszaru PFD niż do obszaru na zewnątrz kokpitu. Podobnie jak na pierwszym etapie, również na drugim oraz trzecim etapie badania, eksperci lotniczy najczęściej rewizytowali obszar wyświetlacza PFD oraz obszar na zewnątrz kokpitu.

Tabela 4**Średnia liczba rewizyt w wyróżnionych obszarach zainteresowania**

	I podejście do lądowania			II podejście do lądowania			III podejście do lądowania		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
PFD	73	54	105	23	25	35	77	51	118
MFD	1	1	10	1	12	9	3	0	6
ANG	NA	0	0	1	0	NA	0	0	NA
OUT	66	31	101	16	7	33	80	53	109

Legenda: PFD – główny wyświetlacz lotu, MFD – wielofunkcyjny wyświetlacz lotu,
ANG – przyrządy analogowe, OUT – obszar na zewnątrz kokpitu, NA – brak danych

4. Dyskusja

Na podstawie analizy map cieplnych oraz obszarów zainteresowania wykazane zostały różnice w rozmieszczeniu oraz liczbie fiksacji w polu wizualnym pomiędzy pilotami o zróżnicowanym doświadczeniu lotniczym.

Mapy cieplne ekspertów charakteryzowały się większym skupieniem fiksacji na określonych elementach kokpitu niż mapy cieplne nowicjuszy. Wykonując podejście do lądowania według wskazań przyrządów, piloci charakteryzujący się większym poziomem doświadczenia lotniczego stosują efektywniejsze metody skanowania

przestrzeni na zewnątrz oraz wewnątrz kokpitu. U pilotów o średniozaawansowanym poziomie doświadczenia występowanie fiksacji na krawędzi deski rozdzielczej może przypuszczalnie wynikać z używanej przez nich strategii podczas wykonywania lotów z widocznością (ang. *Visual Flight Rules*, VFR). Piloci podczas lotów VFR kierują swój wzrok na blat w taki sposób, aby zrównać krawędź z horyzontem, co pozwala im na utrzymanie poziomego lotu.

Główny wyświetlacz lotu PFD stanowi podstawowe źródło informacji o parametrach lotu, niezależnie od poziomu doświadczenia pilotów oraz panujących warunków atmosferycznych. Nowicjusze lotniczy poszukują również wskazówek wzrokowych na zewnątrz kokpitu. Nie mają tak zaawansowanych umiejętności pilotażu, przez co starają się kontrolować samolot na podstawie obserwacji przestrzeni na zewnątrz kokpitu.

Podejście ILS wymaga od pilota pozyskiwania informacji o statku powietrznym głównie z instrumentów znajdujących się na pokładzie. Podczas podejścia do lądowania w gorszych warunkach atmosferycznych nowicjusze spędzali więcej czasu, kierując swój wzrok na obszar głównego wyświetlacza lotu PFD, mniej czasu na obszar wyświetlacza MFD oraz obszar na zewnątrz kokpitu. Ograniczona widoczność skłaniała niedoświadczonych operatorów do obserwacji podstawowych parametrów z wyświetlacza PFD, zwiększając tym samym ich obciążenie poznawcze, rozumiane jako stosunek zasobów wymaganych do wykonania zadania, do ilości dostępnych zasobów poznawczych. Obserwacja dodatkowego źródła informacji w postaci wyświetlacza MFD mogłaby prowadzić do znacznego przeciążenia układu poznawczego operatora, co potwierdza krótszy czas obserwacji tego wyświetlacza podczas wykonywania zadania etapu drugiego, w porównaniu do pozostałych etapów badania. Ponadto, dłuższy czas fiksacji w obszarze wyświetlacza PFD może sugerować, iż nowicjusze lotniczy potrzebowali więcej czasu na rejestrację oraz przetworzenie informacji wyświetlanych na przyrządach. Piloci o średnim poziomie zaawansowania spędzali więcej czasu w obszarze głównego wyświetlacza lotu PFD oraz wielofunkcyjnego wyświetlacza MFD oraz mniej czasu w obszarze na zewnątrz kokpitu podczas wykonywania lądowania w gorszych warunkach atmosferycznych. Operatorzy należący do tej grupy zdobywali doświadczenie, wykonując loty z widocznością. Wykonanie podejścia według wskazań przyrządów mogło przyczynić się do zmiany strategii skanowania przestrzeni kokpitu i jednocześnie do zwiększenia czasu fiksacji w obszarze PFD i MFD. Pogorszenie warunków atmosferycznych nie spowodowało zmian w czasie fiksacji w obrębie głównego wyświetlacza lotu, co może świadczyć o wykształceniu niezmiennych strategii skanowania przyrządów znajdujących się w obszarze wyświetlacza PFD.

Średni czas do pierwszej fiksacji był najdłuższy dla obszaru wielofunkcyjnego wyświetlacza lotu MFD dla wszystkich badanych osób. Wyniki te wskazują, iż piloci w pierwszej kolejności monitorowali podstawowe parametry lotu oraz przestrzeń na zewnątrz kokpitu, dopiero później kierowali swój wzrok na wyświetlacz MFD. Podczas wykonywania podejścia ILS piloci początkowo fiksowali w obszarze głównego wyświetlacza lotu PFD. Uzyskane wyniki potwierdzają, iż wyświetlacz PFD stanowi główne źródło informacji o locie w warunkach ograniczonej widoczności.

Badania wykazały, że najwyższe wartości rewizyt w wyróżnionych obszarach zainteresowania osiągnęli eksperci. Piloci z większym doświadczeniem lotniczym wykształcają strategie skanowania przestrzeni kokpitu, które charakteryzują się większą częstotliwością powracania wzrokiem do instrumentów pokładowych wyświetlających informacje o przebiegu lotu.

Niezależnie od poziomu posiadanego doświadczenia, u osób badanych wystąpiły sporadyczne fiksacje w obszarze przyrządów analogowych. Informacje pozyskiwane z wyświetlaczy analogowych są tożsame z danymi prezentowanymi na głównym wyświetlaczu lotu (PFD). Piloci rzadziej korzystają z wyświetlaczy analogowych z uwagi na czasochłonny proces pozyskiwania danych.

Badania potwierdzają, iż technika eye trackingu może być z powodzeniem wykorzystywana w badaniach pilotów o zróżnicowanym doświadczeniu lotniczym. Wymagane jest przeprowadzenie dalszych badań przy zwiększonej liczbie próby oraz przy uwzględnieniu dodatkowych obszarów zainteresowania w obrębie głównego wyświetlacza lotu PFD. Podejście do lądowania wymaga dużego zaangażowania zasobów poznawczych pilota, wypracowanie efektywnych strategii skanowania przestrzeni w celu pozyskania informacji o stanie statku powietrznego jest zatem kluczowym elementem bezpieczeństwa lotu.

W dalszych analizach należałoby uwzględnić inne parametry okulograficzne, takie jak prędkość ruchów sakkadowych, średnicę źrenicy oka, częstotliwość mrugania czy wskaźniki związane z zamykaniem oczu (PERCOLOS, ECD) [5]. Wymienione parametry pozwalają na ocenę poziomu zmęczenia, stresu czy obciążenia poznawczego [23]. Ponadto, badania powinny również uwzględniać inne metody służące do oceny stanu psychofizycznego operatora, tak jak: elektroencefalografię (EEG), elektrokardiografię (EKG) czy pomiar reakcji skórno-galwanicznej (GSR). W zależności od badanych zjawisk analizy wyników wymienionych powyżej metod są często uzupełniane poprzez wyniki uzyskane przy zastosowaniu subiektywnych metod. Dla przykładu, w badaniach obciążenia zadaniowego pilotów, poza analizą zachowania wzrokowego, wykorzystuje się kwestionariusz NASA-TLX [4].

Szczególną uwagę należy zwrócić również na zastosowanie analizy zachowania wzrokowego w szkoleniu lotniczym. W 2013 r. Robinski oraz Stein, przeprowadzając badania na doświadczonych oraz niedoświadczonych pilotach śmigłowców wojskowych, zaproponowali użycie techniki okulografii do udzielania operatorom informacji zwrotnej o stosowanych przez nich technikach wzrokowego skanowania kokpitu [17]. W innych badaniach wykazano, że zróżnicowane doświadczenie treningowe ma wpływ na wykształcenie się różnych wzorców skanowania przestrzeni. Badacze wskazali, iż istotne jest zatem, aby te różnice uwzględnić przy projektowaniu programów szkoleniowych [14].

Analiza zachowania wzrokowego w szkoleniu lotniczym może zostać zrealizowana z wykorzystaniem badań o charakterze podłużnym. Istotą tego typu eksperymentu jest zaobserwowanie zmian zachodzących u badanych osób na przestrzeni czasu [8]. Badania mogłyby dostarczyć odpowiedzi w zakresie wpływu poszczególnych etapów szkolenia

lotniczego na sposób skanowania przestrzeni kokpitu, a po wykazaniu istotnego statystycznie związku, do jego charakterystyki.

Proces rekrutacji kontrolerów ruchu lotniczego (KRL) opiera się na weryfikacji ich poziomu funkcjonowania poznawczego. Osiągnięcie wysokich wyników w testach poznawczych pozwala określić, czy kandydat posiada predyspozycje umożliwiające mu pomyślną realizację szkolenia lotniczego, uzyskanie licencji oraz pracę w zawodzie KRL. Technika eye trackingu mogłaby zostać wykorzystana do oceny predyspozycji do wykonywania zawodu pilota lub kontrolera ruchu lotniczego.

5. Literatura

1. Bellenkes A.H., Wickens C.D., Kramer A.F.: Visual scanning and pilot expertise: The role of attentional flexibility and mental model development. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 68, 1997.
2. Bos J.E., Bles W., De Graaf B.: Eye movements to yaw, pitch, and roll about vertical and horizontal axes: Adaptation and motion sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 2002.
3. CKAS Mechatronics, CKAS MotionSim5 FSTD Operations Manual. Australia, 2015.
4. Di Nocera F., Camilli M., Terenzi M.: A random glance at the flight deck: Pilots' scanning strategies and the real-time assessment of mental workload. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making* 2007.
5. Dziuda Ł., Baran P., Zieliński P., Murawski K., Dziwosz M., Krej M., Piotrowski M., Stablewski R., Wojdas A., Strus W., Gasiul H., Kosobudzki M., Bortkiewicz, A.: Evaluation of a Fatigue Detector Using Eye Closure-Associated Indicators Acquired from Truck Drivers in a Simulator Study. *Sensors* 2021.
6. Galant-Gołębiewska M., Maciejewska M., Zawada M.: Analysis of Pilot's Cognitive Overload Changes during the Flight. *Advances in Military Technology* 2020.
7. *Human Performance and Limitations. ATPL Ground Training Series.* CAE Oxford Aviation Academy 2014.
8. John O.P., Pervin L.A.: *Osobowość. Teoria i badania* 2002.
9. Krebs M.J., Wingert J.W.: Cunningham T., Exploration of an oculometer-based model of pilot workload. *NASA Contract Report 145153* 1977.
10. Li W.C., Chiu F.C., Kuo Y.S., Wu K.J.: The investigation of visual attention and workload by experts and novices in the cockpit. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Applications and Services.* Springer: Berlin Heidelberg 2013.
11. Li W.C., Kearney P., Braithwaite G., Lin J.: How much is too much on monitoring tasks? Visual scan patterns of single air traffic controller performing multiple remote tower operations, *International Journal of Industrial Ergonomics* 2018.
12. Lorenz B., Biella M., Teegen U., Stelling D., Wenzel J., Jakobi J., Korn B.: Performance, situation awareness, and visual scanning of pilots receiving onboard taxi navigation support during simulated airport surface operation. *Human Factors and Aerospace Safety*, 6, 2006.

13. Marecka A.: Istota badań pomiarowych z wykorzystaniem narzędzi Eye-tracking. Zeszyty Naukowe WSP nr 3/2017 Technologie. Procesy. Bezpieczeństwo. Wyższa Szkoła Promocji, Mediów i Show Businessu, Warszawa 2018.
14. Ottati W. L., Hickox J. C., Richter J.: Eye scan patterns of experienced and novice pilots during visual flight rules (VFR) navigation. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 43rd Annual Meeting 1999.
15. Peißl S., Wickens C., Baruah, R.: Eye-Tracking Measures in Aviation: A Selective Literature Review. The International Journal of Aerospace Psychology 2018.
16. Pupil labs. [online]. Dostępne na: <https://pupil-labs.com>. Data uzyskania dostępu: 21.05.2021.
17. Robinski M., Stein M.: Tracking visual scanning techniques in training simulation for helicopter landing. Journal of Eye Movement Research 2013.
18. Rojna W.: Eye tracking. Metodologia i jej zastosowania w badaniach percepcji reklamy i zachowań konsumentów. IV Ogólnopolski Kongres Badaczy Rynku i Opinii, Warszawa 2003.
19. Shrivastava S., Verma R.: Instrument landing system and its requirement in India. Amity University, Noida 2020.
20. Van de Merwe K., Dijk H., Zon R.: Eye movements as an indicator of situational awareness in a flight simulator experiment. The International Journal of Aviation Psychology 2012.
21. *What is an ILS and its different component?* [online]. Dostępne na: <https://www.aai.aero/en/content/what-ils-and-its-different-component>. Data uzyskania dostępu 20.10.2021
22. Wickens C. D.: Noticing events in the visual workplace: The SEEV and NSEEV models. In R. R. Hoffman, P. A. Hancock, M. W. Scerbo, R. Parasuraman, & J. L. Szalma (Eds.), The Cambridge handbook of applied perception research, Vol. 2, Cambridge University Press 2015.
23. Ziv G.: Gaze Behavior and visual attention: A review of eye tracking studies in aviation. The International Journal of Aviation Psychology 2016.