

# Dunaújváros

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2022. X. évfolyam II. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

ELIF KORUYUCU ET AL.  
Evaluating and Comparison of the  
Ergonomic Conditions

NAGY ANDRÁS  
Érzékelőkkel ellátott kormány szerv  
fejlesztési kérdései

NAGY ANDRÁS  
Költséghatékony műszer fejlesztésé-  
nek bemutatása

NAGY ANDRÁS- JANKOVICS  
ISTVÁN  
Repülésszimulátor alkalmazása  
repülésbiztonsági vizsgálatokhoz

NAGY ANDRÁS  
Siklóernyők fejlődésének történeti  
áttekintése

MARIA PAPANIKOU ET AL.  
Understanding aviation operators'  
variability in advanced systems

THURY MÓNIKA  
„Digitális mentőöv,,



# Dunakavics

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2022. X. évfolyam II. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

MEGJELENIK ÉVENTE 12 ALKALOMMAL

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

András István, Bacsa-Bán Anetta, Balázs László,  
Nagy Bálint, Németh István, Pázmán Judit, Rajcsányi-Molnár Mónika.

Felelős szerkesztő Németh István  
Tördelés Duma Attila

Szerkesztőség és a kiadó címe 2400 Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/a.

Kiadja DUE Press, a Dunaújvárosi Egyetem kiadója  
Felelős kiadó Dr. habil András István, rektor

<http://dunakavics.due.hu>

ISSN 2064-5007

# Tartalom

ELIF KORUYUCU-MELIH YILDIZ-EBRU YAZGAN

-UTKU KALE-ANDRÁS NAGY

*Evaluating and Comparison of the Ergonomic Conditions of Two Representative Training Aircraft Cockpit to Improve the Efficiency of Flight Training*

5

NAGY ANDRÁS

*Érzékelőkkel ellátott kormány szerv fejlesztési kérdései*

21

NAGY ANDRÁS

*Költséghatékony műszer fejlesztésének bemutatása*

31

NAGY ANDRÁS-JANKOVICS ISTVÁN

*Repülésszimulátor alkalmazása repülésbiztonsági vizsgálatokhoz*

41

NAGY ANDRÁS

*Siklóernyők fejlődésének történeti áttekintése*

53

MARIA PAPANIKOU-UKTU KALE-ANDRÁS NAGY-KONSTANTINOS STAMOULIS

*Understanding aviation operators' variability in advanced systems*

63

THURY MÓNKA

*„Digitális mentőöv” – A munkaerőpiaci szereplők készségeinek és felkészültségének fejlesztése a kikötői logisztika területén alkalmazható automatizálási technológiák használatára*

79

*Galéria*

(Halász Iván fotói)

85



## *Evaluating and Comparison of the Ergonomic Conditions of Two Representative Training Aircraft Cockpit to Improve the Efficiency of Flight Training*

**Abstract:** Cockpit design plays an essential role in educational programs for student pilots to improving the quality and efficiency of learning. This study focuses on cockpit design on identifying design factors for educational purposes. In this reaserch, two common trainer aircraft used in flight schools, namely TB-20 and Cessna 172 cockpits have been selected. In order to examine two different trainer aircraft in terms of ergonomics, a questionnaire is developed by obtaining opinion of aviation experts, flight instructors, and student pilots. The questionnaire is conducted to a total number of 40 flight instructors and student pilots for both trainer aircraft which includes different types of survey questions related to displays, control elements, communication in the cockpit, anthropometry, environment, and flight safety. In the statistical analysis, the significant differences between the TB-20 and Cessna 172 training aircraft cockpits are revealed such as (i) readings of the flight engine displays, (ii) placing switches and lever within reach of both pilots, (iii) headphone and microphone in terms of ease of use, (iv) comfourt of the pilot back height of the seats, (v) clear hearing of conversations between student and instructor pilot and auditory signals in the cockpit, and (vi) distracting noise and humidity conditions in the cockpit. Finally, based on the results of the statistical and qualitative analysis in the study, the design issues and orientations in additive manufacturing for a better educational cockpit design are discussed. The outcomes of this study can be used for flight training organizations therby increasing the efficiency and effectiveness of flight training.

**Keywords:** Cockpit design, ergonomics, human factors, trainer aircraft

\* *Eskisehir Technical University, Porsuk Vocation School, Unmanned Aerial Vehicle Technology and Operators Program*  
E-mail: elifkoruyucu@eskisehir.edu.tr

\*\* *Girne University, Faculty of Aviation and Space Sciences, Department of Aeronautical Engineering, Girne, Turkey*  
E-mail: melih.yildiz@kyrenia.edu.tr

\*\*\* *Eskisehir Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe and Powerplant Maintenance*  
E-mail: eyazgan@eskisehir.edu.tr

\*\*\*\* *Budapest University of Technology and Economics, Department of Aeronautics, and Naval Architecture*  
E-mail: ukale@vrht.bme.hu

\*\*\*\*\* *University of Dunaújváros, Department of Mechanical Engineering*  
E-mail: nagy.andras@uniduna.hu

## Introduction

Cockpit design as a control room is of high importance for providing comfort, safety, and ease of communication for pilots. Aircraft certification standards give basic requirements about the cockpit design in terms of flight control systems (CS 23.2300), cockpit lightning (CS 23.2530), and crew compartment arrangements (CS 23.2600). [1]

Aircraft cockpit display and control systems provide much information to the pilot(s) and consist of a great many instruments and complex information. The number and complexity of the cockpit systems increase crew workload thereby leading to increasing the rate of incidents and accidents particularly under being in an emergency (Xiaoling et al., 2016).

Strickland et.al. defined pilots as a vital component of safe flight and emphasized the human aspects of the cockpit. They analyzed man-machine interface effects on pilot's performance during a flight. [2]

Anderson and Hendy (1984) [3] developed an anthropometric model to evaluate seat adjustment of CT-4A cockpit, for enhancing training effectiveness and improve flying safety. They performed an experimental study with thirty pilots to evaluate and propose modifications by means of ergonomics.

Ergonomics is the knowledge of maximizing human productivity by properly fitting the product or system accordingly. Prior to the development of the discipline of ergonomics, humans were required to use the design instead of designing according to human requirements such as height, weight, and strength for the use of the tools or systems. Besides, technology is advancing and changing rapidly which creates additional operational procedures to be introduced, adapted, and allocated for the use of the human. [4], [5]

Consideration of human factors during the design of the aircraft and up to operations is essential. Ergonomics takes account of the human capabilities and limitations during the performance of the tasks, use of equipment, the process of the information, and the environment in which human works suit to human working conditions. For example, the cockpit of the fighter jets can be defined as one of the most complex workplaces in the world which requires higher levels of information processing under stress conditions with the requirement of “no error”. [6]

Indicator systems in cockpits are extremely complex. [7] The slightest mistake or negligence in aviation could result in an air disaster. Display panels should be designed in a way to prevent errors that may arise from the readings or use of these panels. In the study of Senol et al., (2009) [8] the positions of the analog indicators on the front panel were evaluated in terms of human factors using quantitative and qualitative methods. The “Multi-Criteria Decision Making (MCDM)” and “Card Sorting” approaches were adapted and used in the design of a display panel. In this research, 8 pilots were given cards with the names of the indicators, and the cards were asked to be placed correctly over the covered indicators. The examined pilots were expected to find the location of the indicators. Based on the pilot responses, the results were analyzed and evaluated.

Zaitseva et. al. (2020) [8] studied the features of the location of devices and controls in the cockpit of the aircraft, and the level of correct psychophysiological perception of their indications by the pilot during the flight. They emphasized that the placement of indicators, alarms, and controls in the operator workplace is an important factor for improving functional efficiency and reliability.

Zhang et. al (2014) [9] determined the ergonomics design elements in the transport category aircraft cockpit due to the importance of ergonomics design for the efficiency of flight crew operation and flight safety. Using a hierarchical cluster approach, researchers analyzed the design elements which is obtained from airworthiness regulations and industry standards. da Silva et.al (2020) used 33 anthropometric measurements for improving aircraft cockpit design ergonomically.

Jung, et al., (2009) [10] developed a quantitative method for assessing the physical workloads in a digital environment for the cockpit of the Korean Utility Helicopter (KUH). The proposed method quantified physical workloads for the target user under a 3-step process, aimed at identifying design features that need to be improved based on the workload evaluation results. The parameters of quantified physical workloads were posture, reach, visibility, and clearance.

The quality of the cockpit design affects the physiology, psychology, and situation awareness of pilots. In addition, it directly affects the pilots' working efficiency and flight safety. It is therefore essential to carry out an ergonomic assessment in advance for cockpit design. Lijing et al., (2009) [11] used the "Cockpit Ergonomics Layout and Assessment System (CEA)" which can simulate the human-computer interface. In this study, they evaluated the visibility, accessibility, and comfort of the pilot's operating posture in the cockpit. The mannequins of the pilots were seated according to the operational posture, and accessibility and visibility of cockpit layouts were evaluated with ergonomic analysis. In the cockpit, the accessibility and visibility of the main dashboard, front center pedestal control stand, central plinth control stand, upper control panel, sun visor, left and right side console, steering column, and pedal were evaluated by ergonomic analysis. The accessibility of the pilot's right arm and left arm accessible area was examined. A comfort assessment of typical operating stops during take-off, landing, and cruise was also made. The deficiencies in the cockpit layout design were identified by evaluating the cockpit ergonomics.

Kumar et al., (2019) [12] studied the ergonomics of pilot seats by means of the effects of cushion foam on the comfort of the pilot. They conclude that the cushion foam thickness has a direct relation with the seating comfort and at least a 100 mm foam thickness is required for minimal comfort.

In this study, in order to examine and compare two representative trainer aircraft in terms of ergonomics based on literature, a questionnaire was developed for collecting the opinion of instructors and student pilots. The survey results are analyzed statistically and the cockpits of the representative aircraft are evaluated. In the next section, representative trainer aircraft are briefly introduced as well. In the third section, the methodology and questionnaire are presented widely. In the fourth part, the statistical results are given and analyzed. The final section defines and explains the conclusion, discussion, and contributions of the study.

## TB-20 and CESSNA 172 Cockpit

This study focuses on the design impact of human factors in the cockpits of the trainer aircraft namely, TB-20 and CESSNA 172. The cockpit design of these aircraft was examined ergonomically in the study.

The first representative aircraft, the Cessna 172 aircraft is a four-seat, single-engine, and high-wing aircraft manufactured by the Skyhawk, Cessna Aircraft Company. The Cessna 172s flew for the first time in 1955. The cockpit of the Cessna training aircraft is given in *Figure 1*.

*Figure 1. Cessna 172 cockpit general view*



The second representative aircraft, Socata TB-20 Trinidad is a metal semi-mono coke, a single-piston engine with fixed velocity propeller and retractable landing gear, manufactured by Daher-Socata and designed in the late 1970s. The cockpit of the TB-20 training aircraft is presented in *Figure 2*.

*Figure 2. Socata TB-20 cockpit general view*



### Methodology

For evaluation of ergonomics factors of the representative trainer aircraft, a questionnaire is developed. The developed questionnaire has seven parts as following:

- General properties,
- Displays,
- Control elements,
- Communication in the cockpit,
- Anthropometry,
- Environment,
- Flight Safety.

In the first part of the questionnaire, an analysis of frequency and percent is used for the question related to demographic information. In the other six parts, the five-point Likert scale (poor (1), fair (2), average (3), good (4), and very good (5)) questions are used for taking pilots' opinions. Besides, there are also open-ended questions in the questionnaire. Analysis of open-ended questions is evaluated with the most frequent answers.

SPSS 22 program is used for statistical analysis of the questionnaire. For the two representative trainer aircraft cockpit ergonomic aspects, frequencies, and percentages, means, and standard deviations of the answers using the Likert scale are calculated. The difference between means of the answers given from pilots for Cessna-172 and TB-20 cockpits is examined by using ANOVA. Analyses are revealed significant differences between the TB-20 and the Cessna 172 training aircraft cockpits in terms of ergonomics. The detailed analysis and evaluation of the results are given below.

#### DEMOGRAPHIC INFORMATION

The frequency and percentage distributions of the answers given by the flight instructors and student pilots who answered the survey questions related to the general information in the first part of the questionnaire are given in Tables 1 to 4. As can be seen in Table 1, 37.5% of the respondents are instructor pilots, while 62.5% are student pilots. 97.5% of the respondents were male pilots (Table 2) and 2.5% of them were female. 22.5% of the participants are under 22 years old, while 35% of them were over 40 years old (Table 3). In addition, 57.5% of the examined pilots are over 165 cm in height (Table 4).

**Table 1. Distribution of job title**

JOB TITLE	TB-20		CESSNA 172		TOTAL	
	N	%	N	%	N	%
Instructor Pilot	9	42.9	6	31.6	15	37.5
Student Pilot	12	57.1	13	68.4	25	62.5

**Table 2. Gender distribution of pilots**

GENDER	TB-20		CESSNA 172		TOTAL	
	N	%	N	%	N	%
Female	0	0.0	1	5.3	1	2.5
Male	21	100	18	94.7	39	97.5

**Table 3. Distribution of age range**

AGE	TB-20		CESSNA 172		TOTAL	
	N	%	N	%	N	%
18-22	0	0.0	9	47.4	9	22.5
23-27	11	52.4	4	21.1	15	37.5
33-40	2	9.5	0	0.0	2	5.0
> 40	8	38.1	6	31.6	14	35.0

**Table 4. Distribution of height**

HEIGHT	TB-20		CESSNA 172		TOTAL	
	N	%	N	%	N	%
155-165cm	6	28.6	11	57.9	17	42.5
166-175cm	13	61.9	8	42.1	21	52.5
>185 cm	2	9.5	0	0.0	2	5.0

#### QUESTIONS ASKED USING THE LIKERT SCALE

For both trainer aircraft cockpits, the frequencies, percentages, means, standard deviations of the responses using the Likert Scale are calculated and given in Table 5. In the questionnaire, it is accepted that the questions with „average + fair + poor” answers totaling 50% are factors open to improvement in terms of the ergonomics of training aircraft. Moreover, the mean and standard deviation for each question is showed in Table 5.

*Tablo 5. Distribution of the Answers Using the Likert Scale*

Tablo 5. Distribution of the Answers Using the Likert Scale

A. QUESTIONS ABOUT DISPLAYS	TB-20										CESSNA 172													
	Poor		Fair		Average		Good		Very Good		Mean	Std. Deviation	Poor		Fair		Average		Good		Very Good		Mean	Std. Deviation
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%			N	%	N	%	N	%	N	%	N	%		
A2: Please evaluate the readings of the engine displays on the cockpit panel according to the normal viewing angle by both pilots.	0	0.0%	2	9.5%	8	38.1%	11	52.4%	0	0.0%	3.43	0.676	0	0.0%	0	0.0%	3	15.8%	13	68.4%	3	15.8%	4.00	0.577
A3: Please evaluate the adequacy of general lighting in the cockpit for documents such as a map and checklist.	0	0.0%	1	4.8%	6	28.6%	12	57.1%	2	9.5%	3.71	0.717	0	0.0%	0	0.0%	6	31.6%	10	52.6%	3	15.8%	3.84	0.688
A4: Please evaluate the adequacy of the interior lighting of the displays on the cockpit panel.	0	0.0%	1	5.0%	3	14.3%	15	71.4%	1	4.8%	3.67	0.856	0	0.0%	1	5.3%	3	15.8%	14	73.7%	1	5.3%	3.79	0.631
A5: Brightness and reflection of flight displays.	1	4.8%	1	4.8%	6	28.6%	12	57.1%	1	4.8%	3.52	0.873	0	0.0%	0	0.0%	4	21.1%	15	78.9%	0	0.0%	3.79	0.419
A6: Brightness and reflection of engine displays.	0	0.0%	1	4.8%	5	23.8%	13	61.9%	2	9.5%	3.76	0.700	0	0.0%	0	0.0%	2	10.5%	17	89.5%	0	0.0%	3.89	0.315
A7: Please evaluate the conditions of seeing surrounding conditions (i.e. wing) of the aircraft during the flight.	0	0.0%	0	0.0%	4	19.0%	14	66.7%	3	14.3%	3.95	0.590	0	0.0%	0	0.0%	7	36.8%	8	42.1%	4	21.1%	3.84	0.765
A8: Please evaluate the display arc limits and the moving speed of the finders.	0	0.0%	1	4.8%	0	0.0%	18	85.7%	2	9.5%	4.00	0.548	0	0.0%	0	0.0%	4	21.1%	14	73.7%	1	5.3%	3.84	0.501
A9: Please evaluate to what extent it is useful to provide the same information with both analog and digital displays for the flight.	0	0.0%	0	0.0%	1	4.8%	14	66.7%	6	28.6%	4.24	0.539	0	0.0%	0	0.0%	2	11.1%	6	33.3%	10	55.6%	4.44	0.705
A10: Please evaluate how well organized the descriptions of the displays on the cockpit panel.	0	0.0%	1	4.8%	4	19.0%	14	66.7%	2	9.5%	3.81	0.680	0	0.0%	1	5.3%	2	10.5%	15	78.9%	1	5.3%	3.84	0.602

	TB-20										CESSNA 172										Std. Deviation				
	Poor		Fair		Average		Good		Very Good		Mean	Std. Deviation	Poor		Fair		Average		Good			Very Good		Mean	Std. Deviation
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%			N	%	N	%	N	%	N	%		N	%		
C4. How the conversations between the student and instructor pilot and auditory signals in the cockpit are heard clearly and transparently, please evaluate?	0	0.0%	0	0.0%	3	15.0%	13	65.0%	4	20.0%	4.05	0.605	0	0.0%	1	5.3%	8	42.1%	9	47.4%	1	5.3%	3.53	0.687	
<b>D. QUESTIONS ABOUT ANTHROPOMETRY</b>																									
Please evaluate the comfort of the pilot seats in terms of seating																									
D1. The width of the seating area	0	0.0%	5	23.8%	13	61.9%	2	9.5%	1	4.8%	2.95	0.740	2	10.5%	7	36.8%	9	47.4%	1	5.3%	0	0.0%	2.47	0.772	
D2. Length of the seating area	0	0.0%	4	19.0%	16	76.2%	1	4.8%	0	0.0%	2.86	0.478	1	5.3%	2	10.5%	16	84.2%	0	0.0%	0	0.0%	2.79	0.535	
D3. The height of the seating area from the ground	0	0.0%	1	4.8%	19	90.5%	1	4.8%	0	0.0%	3.00	0.316	0	0.0%	2	10.5%	16	84.2%	1	5.3%	0	0.0%	2.95	0.405	
D4. Back height of the seat	1	4.8%	7	33.3%	13	61.9%	0	0.0%	0	0.0%	2.57	0.588	0	0.0%	0	0.0%	18	94.7%	1	5.3%	0	0.0%	3.05	0.229	
D5. Please evaluate the comfort of the pilot's seat in general	0	0.0%	3	14.3%	8	38.1%	8	38.1%	2	9.5%	3.43	0.870	0	0.0%	0	0.0%	11	57.9%	8	42.1%	0	0.0%	3.42	0.507	
<b>E. QUESTIONS ABOUT ENVIRONMENTAL CONDITIONS</b>																									
Please evaluate if there are uncomfortable vibrations in the cockpit																									
E1. Please evaluate if there are uncomfortable vibrations in the cockpit	0	0.0%	0	0.0%	6	28.6%	15	71.4%	0	0.0%	3.71	0.463	0	0.0%	3	15.8%	8	42.1%	6	31.6%	2	10.5%	3.37	0.895	
E2. Please evaluate whether there is distracting noise in the cockpit	0	0.0%	1	4.8%	5	23.8%	15	71.4%	0	0.0%	3.67	0.577	0	0.0%	5	26.3%	8	42.1%	4	21.1%	2	10.5%	3.16	0.958	
E3. Please evaluate the humidity conditions in the cockpit	0	0.0%	1	4.8%	3	14.3%	16	76.2%	1	4.8%	3.81	0.602	0	0.0%	3	15.8%	8	42.1%	8	42.1%	0	0.0%	3.26	0.733	
E4. Please evaluate the climate conditions in the cockpit	2	9.5%	5	23.8%	4	19.0%	10	47.6%	0	0.0%	3.05	1.071	2	10.5%	8	42.1%	7	36.8%	2	10.5%			2.47	0.841	
<b>F. QUESTIONS ABOUT FLIGHT SAFETY</b>																									
Please evaluate if the cockpit designed to prevent the pilots from distracting? Please evaluate the cockpit from this perspective																									
F1. Is the cockpit designed to prevent the pilots from distracting? Please evaluate the cockpit from this perspective	0	0.0%	0	0.0%	4	19.0%	15	71.4%	2	9.5%	3.90	0.539	0	0.0%	1	5.3%	3	15.8%	15	78.9%	0	0.0%	3.74	0.562	
F2. How is the cockpit designed to avoid errors in pilots monitoring the system, please evaluate?	0	0.0%	1	4.8%	6	28.6%	11	52.4%	3	14.3%	3.76	0.768	0	0.0%	1	5.3%	5	26.3%	13	68.4%	0	0.0%	3.63	0.597	
F3. Please evaluate the comfort of entering and exiting to cockpit under normal conditions.	1	4.8%	5	23.8%	13	61.9%	2	9.5%	0	0.0%	2.76	0.700	1	5.3%	4	21.1%	10	52.6%	3	15.8%	1	5.3%	2.95	0.911	

	TB-20										CESSNA 172													
	Poor		Fair		Average		Good		Very Good		Mean	Std. Deviation	Poor		Fair		Average		Good		Very Good		Mean	Std. Deviation
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%			N	%	N	%	N	%	N	%	N	%		
<b>B. QUESTIONS ABOUT CONTROL ELEMENTS</b>																								
Please evaluate whether the following control elements are placed within the reach of both pilots																								
B6: Switches	1	4.8%	0	0.0%	2	9.5%	17	81.0%	1	4.8%	3.81	0.750	1	5.3%	4	21.1%	8	42.1%	5	26.3%	1	5.3%	3.05	0.970
B7: Buttons	0	0.0%	0	0.0%	3	14.3%	15	71.4%	3	14.3%	4.00	0.548	1	5.3%	1	5.3%	3	15.8%	13	68.4%	1	5.3%	3.63	0.895
B3: Pedals	1	4.8%	1	4.8%	1	4.8%	10	47.6%	8	38.1%	4.10	1.044	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	9	47.4%	10	52.6%	4.53	0.513
B4: Lever	1	4.8%	2	9.5%	1	4.8%	13	61.9%	4	19.0%	3.81	1.030	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	7	36.8%	12	63.2%	4.63	0.496
B5: Throttle	0	0.0%	0	0.0%	2	9.5%	13	61.9%	6	28.6%	4.19	0.602	0	0.0%	0	0.0%	2	10.5%	8	42.1%	9	47.4%	4.37	0.684
How do you perceive the control elements as tactile feeling while using them in flight? (e.g. is it necessary to apply a very strong force when using the pedals?)																								
B6: Switches	0	0.0%	1	4.8%	3	14.3%	11	52.4%	6	28.6%	4.05	0.805	0	0.0%	0	0.0%	3	15.8%	13	68.4%	3	15.8%	4.00	0.577
B7: Buttons	0	0.0%	0	0.0%	2	9.5%	15	71.4%	4	19.0%	4.10	0.539	0	0.0%	0	0.0%	1	5.3%	15	78.9%	3	15.8%	4.11	0.459
B8: Pedals	0	0.0%	0	0.0%	1	4.8%	12	57.1%	8	38.1%	4.33	0.577	0	0.0%	0	0.0%	3	15.8%	9	47.4%	7	36.8%	4.21	0.713
B9: Lever	0	0.0%	1	4.8%	0	0.0%	15	71.4%	5	23.8%	4.14	0.655	0	0.0%	0	0.0%	1	5.3%	10	52.5%	8	42.1%	4.37	0.597
B10: Throttle	0	0.0%	1	4.8%	3	14.3%	11	52.4%	7	33.3%	4.19	0.660	0	0.0%	0	0.0%	4	21.1%	9	47.4%	6	31.6%	4.11	0.737
B11: Please evaluate the control elements in terms of shape	0	0.0%	2	9.5%	1	4.8%	16	76.2%	2	9.5%	3.86	0.727	0	0.0%	0	0.0%	2	10.5%	15	78.9%	2	10.5%	4.00	0.471
B12: Please evaluate the control elements in terms of dimension	0	0.0%	1	4.8%	3	14.3%	16	76.2%	1	4.8%	3.81	0.602	0	0.0%	0	0.0%	2	10.5%	15	78.9%	2	10.5%	4.00	0.471
<b>C. QUESTIONS ABOUT COMMUNICATION IN THE COCKPIT</b>																								
Please evaluate the devices given below in terms of ease of use																								
C1: Headphone	1	4.8%	2	9.5%	2	9.5%	9	42.9%	7	33.3%	3.90	1.136	2	10.5%	6	31.6%	5	26.3%	6	31.6%	0	0.0%	2.79	1.032
C2: Microphone	1	4.8%	0	0.0%	4	19.0%	10	47.6%	6	28.6%	3.95	0.973	0	0.0%	4	21.1%	7	36.8%	8	42.1%	0	0.0%	3.21	0.787
C3: Radiotelephone	1	4.8%	0	0.0%	5	23.8%	11	52.4%	4	19.0%	3.81	0.928	0	0.0%	0	0.0%	2	10.5%	16	84.2%	1	5.3%	3.95	0.405
<b>TB-20</b>																								
<b>CESSNA 172</b>																								
F4: Please evaluate the flight safety conditions of the cockpit in general	0	0.0%	3	14.3%	18	85.7%	0	0.0%	0	0.0%	3.86	0.359	0	0.0%	4	21.1%	14	73.7%	1	5.3%			3.84	0.501
F3: In case of recording more than one warning from the displays at the same time in the cockpit, to what extent is it detected by the warnings?	0	0.0%	2	9.5%	8	38.1%	9	42.9%	2	9.5%	3.52	0.814	1	5.3%	4	21.1%	4	21.1%	8	42.1%	2	10.5%	3.32	1.108
F6: Please evaluate the overall quality (in terms of ergonomics) of the cockpit design	0	0.0%	2	9.5%	8	38.1%	11	52.4%	0	0.0%	3.43	0.676	0	0.0%	1	5.9%	5	29.4%	10	58.8%	1	5.9%	3.65	0.702

## Results

### THE FREQUENCY AND PERCENTAGE ANALYSIS

Among the responses given in the survey, the questions with a total of „average + medium + poor” approximately 50% are considered to be ergonomically problematic issues. When Table 5 is analyzed in detail, it is seen that the factors that negatively affect the ergonomic conditions for both trainer aircraft cockpit (Table 6) are problematic issues open to improvement in cockpit design.

**Table 6. Factors that negatively affecting the ergonomic conditions for both trainer aircraft cockpit**

TB-20	CESSNA 172
Poor the readings of the flight displays according to the normal viewing angle by both pilots	Brightness and reflection of engine displays
Brightness and reflection of engine displays	Switches are not placed within the reach of both pilots
Uncomfortable pilot seats in terms of seating area dimensions and seat back height	Headphone and microphone are not easy to use
Poor climate conditions in the cockpit	The conversations between the student and instructor pilot and auditory signals in the cockpit are heard not clearly and transparently
Uncomfortable entering and exiting to cockpit under normal conditions	Poor environmental conditions such as vibration, noise, humidity, and climate in the cockpit
Poor the overall quality in terms of ergonomics of the cockpit design	Uncomfortable entering and exiting to cockpit under normal conditions

### ANOVA ANALYSIS

The difference between means of the responses given from pilots for Cessna-172-SP and TB-20 cockpits is examined. The significance of this difference between means is determined at significance level  $\alpha = 0,05$  and  $H_0: \mu_{\text{Cessna 172 SP}} = \mu_{\text{TB-20}}$  and  $H_1: \mu_{\text{Cessna 172 SP}} \neq \mu_{\text{TB-20}}$ . The ANOVA analysis results are given in Table 7.

*Table 7. ANOVA analysis results*

Question no		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A1	Between Groups	3.257	1	3.257	8.174	<b>0.007</b>
	Within Groups	15.143	38	0.398		
	Total	18.400	39			
B1	Between Groups	5.715	1	5.714536	7.70441	<b>0.009</b>
	Within Groups	28.185	38	0.742		
	Total	33.900	39			
B4	Between Groups	6.741	1	6.740852	9.982887	<b>0.003</b>
	Within Groups	25.659	38	0.675		
	Total	32.400	39			
C1	Between Groups	12.408	1	12.40758	10.4851	<b>0.002</b>
	Within Groups	44.967	38	1.183		
	Total	57.375	39			
C2	Between Groups	5.490	1	5.489724	6.928184	<b>0.012</b>
	Within Groups	30.110	38	0.792		
	Total	35.600	39			
C4	Between Groups	2.672	1	2.672	6.303	<b>0.017</b>
	Within Groups	15.687	37	0.424		
	Total	18.359	38			
D4	Between Groups	2.310	1	2.309774	10.84907	<b>0.002</b>
	Within Groups	8.090	38	0.213		
	Total	10.400	39			
E2	Between Groups	2.582	1	2.582018	4.230446	<b>0.047</b>

## RESULTS OF OPEN-ENDED QUESTIONS

The responses given to the open-ended questions in the questionnaire for both trainer aircraft are given in *Table 8*.

*Table 8. Answers to open-ended questions*

TB-20 Cessna 172

TB-20	Cessna 172
<b>Concerning the readability of flight indicators in an educational flight</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Readability of RPM, manifold, and turn coordinator (TC) are found as difficult from the left seat for trainee pilots</li> <li>- Variometer located on the left side of the panel found as hard to read from the right seat</li> <li>- At night flights digital flow meter makes blin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Readability of RPM indicators, engine indicators is difficult from the left seat for trainee pilots</li> <li>- Flight and engine indicators should be placed on the cockpit panel at a certain angle</li> <li>- The heading indicator is poorly fitted by both pilots</li> </ul>
<b>Concerning the brightness and reflection of flight indicators and Control Elements</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- IAS, VST, ALT, and Horizontal Situation Indicator is unreadable from the left seat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- For the instructor pilot sitting on the right seat, indicators placed on the left part are not readable because of reflections (viewing difficult)</li> <li>- The lower view is better than upper</li> <li>- It is difficult to reach and activate buttons and switches from the right seat</li> <li>- Control systems should be supported by hydraulic systems</li> <li>- Lighting switches from the right seat have a poor view</li> </ul>
<b>Environmental Conditions</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disturbing vibrations in the cockpit is due to panel</li> <li>- Difficulty with entrance to cockpit is reported</li> <li>- Sun protective films are needed on front and side windows</li> <li>- The viewing angle can be increased</li> <li>- Seat adjustment also avoids setting viewing angle</li> <li>- Multiple bolt block is needed to avoid accidental operation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficult to do adjustments without pulling back the command wheel on the indicators e.g. Difficult to adjust direction gyro and heading bug (could be mounted upright)</li> <li>- Disturbing vibrations in the cockpit is due to engine indicator vibration when the engine starts turbulence and wind conditions also increase vibration perceptions</li> <li>- Disturbing noise is due to the air conditioner, transmitter, heating system, turbulence, and engine</li> <li>- It is difficult to reach and activate buttons and switches from the right seat</li> <li>- The temperature reaches 50 degrees inside the cockpit and its downsides will return to normal only after 1.5 or 2 hours if there is no sun.</li> <li>- Pedals are too hard and harder to feel</li> </ul>

TB-20	Cessna 172
<b>Anthropometry</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Design suggestions in general focus towards, the seats in TB-20 are not adjustable in the height and besides back support is needed for flight comfort.</li> <li>- The seat belt is found as too tight</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leather seats make sweaty in warm weather</li> <li>- The seat backrest should be adjusted for height</li> </ul>
<b>In-cockpit communication</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Headphones need to be replaced with less permeable ones to increase student concentration</li> <li>- Headphones do not insulate the sound enough.</li> <li>- Headphones and microphones are problematic in terms of hygiene.</li> </ul>
<b>Flight Safety</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- It is difficult to secure a fire extinguisher after usage</li> <li>- Engine noise is distracting.</li> <li>- It is better to give visual and audio warning together in error monitoring</li> <li>- Cessna is better in emergencies (an airplane that can fly at low speeds when there is a problem with the engine (due to its wings))</li> </ul>

## Conclusion and Discussion

In this study, a survey is conducted to evaluate the ergonomic conditions of the cockpits of the common trainer aircraft, namely, TB-20 and CESSNA 172. The questionnaire developed is applied to the instructor and student pilots in training aircraft. When the results of the frequency and percentage analysis are examined, it can be seen that there are important subjects open to improvement in terms of ergonomics for the cockpits of these training aircraft.

The research results provide the following issues for the cockpit design to be improved:

*TB-20:* (i) the reading, brightness, and reflection of the engine and flight displays, (ii) the comfort of the pilot seats, (iii) climate conditions, and (iv) overall quality in terms of ergonomics of the cockpit design.

*CESSNA 172:* (i) the brightness and reflection of the flight displays, (ii) access of switches by both pilot, (iii) ease to use of headphone and microphone, (iv) audio quality of the conversations between the student and instructor pilot and auditory signals in the cockpit, (v) environmental conditions.

In order to increase the efficiency of piloting training by improving the ergonomic conditions of the training aircraft cockpit, the recommendations of the authors determined in this study are as follows:

- Analog displays are better for education
- Colors can prioritize the warning inside the cockpit
- Air-condition is needed in the aircraft for effectiveness
- Engine displays can be positioned in the middle where both pilots can see
- The fuel indicator system should be changed from resistive to capacitive
- A digital display can be placed inside the analog display. Thus, cross-check during flight decreases cognitive workload.

Based on the results, It can be indicated that the outcomes of ANOVA analysis provide enlightening results. It is demonstrated that the (i) readings of the flight engine displays, (ii) placing switches and lever within reach of both pilots, (iii) headphone and microphone in terms of ease of use, (iv) the comfort of the pilot back height of the seats in terms of seating, (v) clear hearing of conversations between student-instructor pilot and auditory signals in the cockpit, (vi) distracting noise and (vii) humidity conditions in the cockpit have significant differences with regards to two representative trainer aircraft.

Flight training consist of different flight stages such as initial, development, and advanced. The results of this analysis can be used to determine the suitable aircraft for training phase to increase the efficiency of the training. It is anticipated that this study will be a useful guidance document for flight training organizations and aircraft manufacturers by means of ergonomics.

With this study, it is clear that examining the ergonomic conditions of the cockpits of the widely used trainer aircraft is very important in the efficiency and effectiveness of the pilot training. Considering the findings obtained from this study, especially in the improvement areas of the training aircraft cockpits design, this research may play an important role in minimizing errors and accidents in pilot training.

This study has limitations such as the data were collected from a single flight training organization. In future work, it is planned to prioritize the investigated risk factors ergonomically in the cockpit design determined by this study with the help of risk analysis and Multi-Criteria Decision-Making methods such as Analytic Network Process (ANP).

### *Funding*

This work is supported by the EFOP-3.6.1-16-2016-00003 project which is co-financed by the European Union.

### *Acknowledgment*

This study was based on the scientific research project titled “Development of a Questionnaire Examining the Ergonomic Conditions of a Training Aircraft Cockpit to Improve the Efficiency of Civil Flight Training” and project no. 20ADP207 of Eskisehir Technical University.

## References

- [1] Easa, Part 21, CS-23, [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/cs-23\\_amendment\\_5\\_-\\_amc\\_gm\\_to\\_cs23\\_issue\\_3\\_0.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/cs-23_amendment_5_-_amc_gm_to_cs23_issue_3_0.pdf), accessed 01. 03. 2021.
- [2] Strickland, D.–Pioro, B.–Ntuen, C. (1996): The Impact of Cockpit Instruments on Pilot Exhaustion. *Computers & Industrial Engineering*, 31. (1–2.) Pp. 483–486.
- [3] Anderson, K. W.–Hendry, K. C. (1984): Proposed Modifications for the RAAF Airtrainer CT-4A Cockpit. Melbourne: Aeronautical Research Laboratories.
- [4] Blanchard, B. S.–Fabrycky, W. J. (2006): *Systems Engineering and Analysis*, Prentice Hall.
- [5] Wang, J.–Li, S. C.–Lin, P. C. (2019): A Psychophysical and Questionnaire Investigation on the Spatial Disorientation Triggered by Cockpit Layout and Design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, (72.) Pp. 347–353.
- [6] Wiener, E. L.–Nagel, D. C. (Eds.) (1988): *Human Factors in Aviation*, Gulf Professional Publishing. Pp. 684.
- [7] Wentz, C. P.–Schnell, T.–Zwahlen, H. T. (1998): Human Factors Considerations of Aircraft Displays. *SAE Technical Paper Series*,
- [8] Zaitseva, A.–Dubovitskiy, M. A. (2020): Ergonomic of Instrument Panel and Sensors in the Passenger Aircraft Cockpit and its Impact on the Human Factor Manifestation and Flight Safety. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow. Pp. 1–4.
- [9] Zhang, Y.–Sun, Y.–Chen, Y. (2014): A Framework for Ergonomics Design of Transport Category Airplane Cockpit. *Procedia Engineering*, 80. Pp. 573–580.
- [10] Jung, K.–Park, J.–Lee, W.–Uem, J.–Kang, B.–Park, S.–You H. (2010): Development of a Quantitative Ergonomic Assessment Method for Helicopter Cockpit Design in a Digital Environment, Engineering. *Journal of The Ergonomics Society of Korea*, Beijing: Jiuhua Exhibition–Convention Centre.
- [11] Lijing, W.–Wei, X.–Xueli, H.–Xiaohui, S.–Jinhai, Y.–Lin, Z. –Gaoyong, S. (2009): The Virtual Evaluation of the Ergonomics Layout in Aircraft Cockpit. IEEE. 978-1-4244-5268-2.
- [12] Kumar, V.–Misha, R. K.–Krishnapillai, S. (2019): Study of Pilot’s Comfortness in the Cockpit Seat of a Flight Simulator. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 71. Pp. 1–7.

## *Érzékelőkkel ellátott kormány szerv fejlesztési kérdései*

**Összefoglalás:** Ebben a tanulmányban egy innovatív, teljesen integrált eszköz fejlesztését és tesztelését mutatom be. Az eszköz alkalmas az emberi test néhány fiziológiai paraméterének mérésére, amelyek a repülőgép-pilóták mentális állapotát jellemzik. Ehhez a feladathoz minden szükséges hardver és szoftver kifejlesztésre került, számos tesztet hajtottak végre az eszköz megbízhatóságának bizonyítására. Az eszközt bármilyen repülésszimulátorba be lehet építeni, amely joystick eszközöket tud fogadni, míg a pilóták összegyűjtött fiziológiai adatait egy külön PC dolgozza fel.

**Kulcsszavak:** Szenzoros botkormány, mentális állapot, beágyazott fejlesztés.

**Abstract:** An innovative, fully integrated device is developed and introduced in this paper. It is suitable to measure some physiological parameters of human body, which are able to represent the mental state of aircraft pilots. All necessary hardware and software have been developed for this task and many system tests are executed to prove the reliability of the device. It is able to install into any flight simulator which can handle joystick devices, while human physiological data collected are sent into a separated PC without any modification of the simulator.

**Keywords:** Flightstick, human factor, physiological parameters.

### Bevezetés

Napjainkban a repülés fejlődésével egyre inkább szükség van arra, hogy megoldást találjunk a légiközlekedés biztonsági szintjének fenntartására vagy további növelésére. A repülési események statisztikáinak javítása érdekében jó megoldás lehet a személyzet képzési rendszerének fejlesztése, vagy új biztonsági technológiák, vagy rendszerek telepítése.

\* *Dunaújvárosi Egyetem*

E-mail: nagy.andras@uniduna.

hu

A biztonsági szint fenntartásának egyik módja a pilóták fizikai és mentális állapotának figyelemmel kísérése lehet fiziológiai paramétereik mérésével. A mért adatokat egy rendszer dolgozhatja fel, amely figyelmeztetheti a személyzetet a kritikus helyzetekre, vagy szélsőséges esetekben felülbíráhatja a pilóta parancsait. Kizárólag a repülőgép állapotát monitorozó rendszer fejlesztése nem elegendő, már most be kell vonnunk az emberi tényezőt is a biztonsági rendszerekbe, hogy a komolyabb repülési események statisztikai arányait alacsony szinten tartsuk.

Ebben a cikkben egy olyan kormány szervet mutatok be, amely képes mérni a pilóták néhány fiziológiai paraméterét, amelyek stresszszintjüktől (mentális állapotuktól) függenek. Ilyen például a pulzusszám, a testhőmérséklet, a bőr vezetőképessége. A kormány szerv tesztelése a BME Repülőgépek és Hajók Tanszék repülésszimulátorában történt, amely egy fix bázisú, többcélú szimulátor tudományos vizsgálatok kiszolgálásához. A repülőgépek irányítása szarvkormányval vagy botkormányval történik. Jelen cikkben egy érzékelőkkel ellátott botkormány markolat kerül bemutatásra.

A fejlesztés folyamata 4 fő részre osztható:

1. A markolat kialakítása
2. A mechanizmus kialakítása
3. Érzékelő jelkondicionálás és adatfeldolgozó elektromos áramkör fejlesztése
4. PC-s adatgyűjtő szoftver fejlesztése

## A markolat kialakítása

Először is a fő cél az volt, hogy ergonomikus formát hozzunk létre az markolat számára, amibe lehetséges a szükséges érzékelők beépítése. Ezenkívül más fontos követelmények is voltak a markolattal szemben, annak kézhez kell illeszkednie és esztétikusnak kellett lennie. Ezért egy gyurma modellt alakítottunk ki, amíg el nem értük a megfelelő formát, ez az *1. ábrán* látható.

*1. ábra. Az botkormány gyurma modellje kidolgozva*



Ezután a gyurma modellt DAVID-lézerszkennő 3.3 eszközzel szkennelték be. Ez a rendszer egy alacsony költségű megoldás 3D szkennelésre, költségérzékeny alkalmazásokhoz kiválóan illik. A szkennelési folyamat során egy lézervonal tapogatta végig a modellt egy mérősarokban, amit közben kamerával rögzítettek. Az eredmény egy felületmodell STL fájlformátumban.

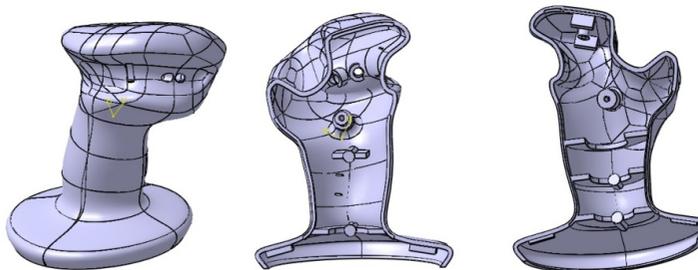
**2. ábra. Lézerszkennelő berendezés**



A szkennelés után a virtuális felületet a Catia V5 mechanikai és felülettervező programba exportálták, ahol az utófeldolgozást és a felület korrekcióját végezték. Ezután a beolvasott modell alapján egy vékony falú virtuális modellt terveztek, ugyanazzal a külső felülettel és speciális belső alakítással. A botkormányon belül megvastagodásokat, lyukakat, csatlakozásokat, érzékelők helyeit úgy alakították ki, hogy ne hagyják, hogy a belső elemek zavarják egymást.

[2] Monter, M.–Roundy, S.–Odell, D.–Ahn, Sung-Hoon–Wright, P. K. (2001): Material Characterization of Fused Deposition Modeling (FDM) ABS by Designed Experiments, Proceedings of Rapid Prototyping and Manufacturing Conference, SME.

3. ábra. Kifejlesztett markolat, gyártásra kész állapotban



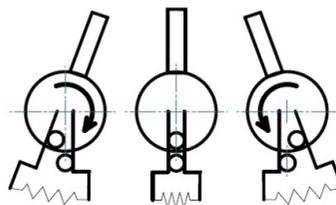
A tervezett markolat az FDM gyors prototípus-készítési technológiával [2] gyártották, ahol a testet a 3D nyomtató rétegről rétegre építi fel és ezeken a rétegeken egy vékony műanyag szálát megolvaszt a kívánt helyre.

### A mechanizmus kialakítása

A test mechanizmusának a lehető legegyszerűbbnek és ellenállóbbnak kell lennie, könnyen és olcsón összeszerelhetőnek és karbantarthatónak kell lennie. Ezekhez a követelményekhez kéttengelyes mechanizmust fejlesztettek ki rugós erő-visszacsatolással.

Amikor a pilóta elfordítja a mechanizmust az egyik irányba, a tengelyek elrendezése lehetővé teszi az elfordulást, rugóerő ellenében. A rugók ereje ellenáll a mozgásnak, és a kitéréssel együtt lineárisan növekszik.

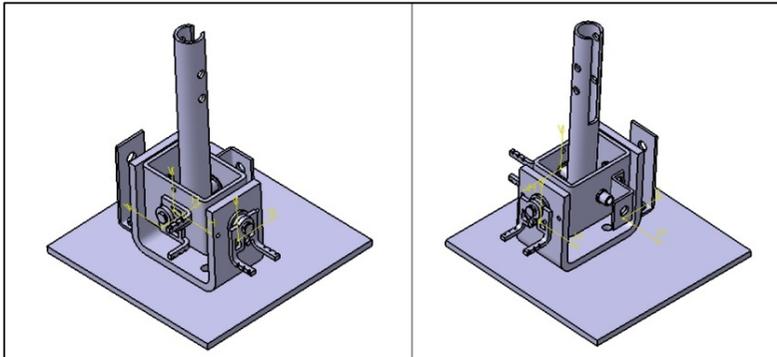
4. ábra. Az erő-visszacsatolás szerkezetének sematikus rajza



A tengelyek szögváltozásainak mérésére két rendszert terveztek potenciométerekhez, oly módon, hogy az érzékelők koaxiálisan kapcsolódjanak a mechanizmus tengelyeihez. Ezzel a megoldással a potenciométerek jelei közvetlenül mutatják a botkormány elfordulását.

[9] Microchip Technology Inc.:

5. ábra. A tervezett mechanizmus 3D modellje



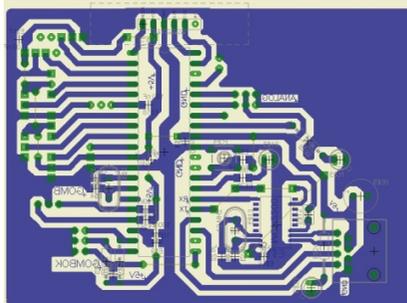
A tervezés során a lehető legtöbb szabványos alkatrészt használták (üreges szelvények, csövek, fémlemezek, csavarok, anyák, csapágyak stb.), így a gyártás során minimális egyedi alkatrészt volt szükség. A mechanizmus anyaga alapvetően alumínium, a nagyobb terhelésű részeken acél.

## Érzékelő jel kondicionálás és adatfeldolgozó elektromos áramkör tervezése

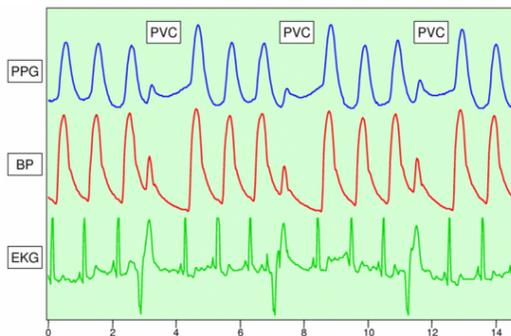
A rendszer elektromos része a következőkből áll:

- kommunikációs és vezérlési áramkör
- érzékelő jelkondicionáló áramkör

A vezérlőáramkör felelős az érzékelők jelkondicionáló áramköréből érkező összes digitális adat összegyűjtéséért, feldolgozásáért és számítógépre küldéséért. Továbbá a potenciométerek digitális adatai és a mérésvezérlés adatai közvetlenül érkeznek ide. Ez az egység a Microchip PIC18F4550 mikrokontrollerén alapul. [9]

**6. ábra. A megvalósított vezérlő NYÁK-rajza**

A mikrokontroller két különálló USB-csatlakozón keresztül kommunikál a számítógéppel. Az egyik USB-n keresztül az eszközt az operációs rendszer kéttengelyes joystickként ismeri fel a Human Interface Device (HID) illesztőprogramon keresztül [3]. Ez lehetővé teszi az eszköz használatát bármely szimulátor szoftverben, amely képes kezelni joystick beviteli eszközt. A másik USB-kapcsolatot úgy tervezték, hogy a Virtual Com Port (VCP) illesztőprogramon keresztül kommunikáljon a számítógéppel. Ezen az interfészen keresztül a mért és feldolgozott adatok elküldhetők a PC-re, amelyet egy szoftver képes összegyűjteni, feldolgozni, megjeleníteni és tárolni. Ez a módszer, amellyel a szimulátor vezérlési adatáramlása és az érzékelő adatáramlása elkülönül egymástól, kiválóan alkalmas repülésszimulátorba történő integrálásra, mivel az adatgyűjtő szoftver és a szimulátor szoftver különböző számítógépeken (is) futtatható.

**7. ábra. PPG, BP és EKG jeleinek összehasonlítása**

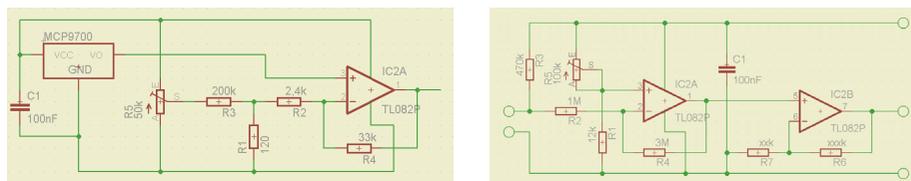
A pulzusról photoplethysmogram (PPG) elven alapul [1, 5]. A mérőáramkör fel dolgozza az érzékelő analóg jelét, amely egy LED és egy fototranzisztor párt tartalmaz egymás mellett. Ezt az elrendezést és elvet alkalmazzák a pulse oximéterek.

A folyamat a következő: amikor egy ujj az érzékelők fölött van, a LED fényének egy része visszaverődik a fototranzisztorra az ujj vérbőségének függvényében. A fototranzisztor állapota (feszültsége) a visszavert fény intenzitásától függ, így a pulzusszám meghatározható. A PPG jel többféleképpen is elemezhető, nem csak a pulzusszám becsülhető meg belőle. [4, 5, 6]

A hőmérsékletmérő érzékelő egy MCP 9700 termisztor, amely  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  között képes mérni  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  pontossággal. Az érzékelő jelkondicionálónak köszönhetően a mérési tartomány  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti, az felbontás pedig  $0,0276\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra csökken.

Az bőr vezetőképesség mérő szenzor Wheatstone-hídként működik, felerősített kimenettel. A hídban az egyik ellenállást a bőrellenállás elektródáira cserélik. A Wheatstone-híd egyensúlya a bőr nedvességétől függ, így a kimenet a pilóta kezének vezetőképessége függvényében változik. A bőrhőmérséklet és a bőrvezető érzékelő jelkondicionáló áramköreinek sematikus rajza a 8. ábrán látható.

8. ábra. A bőr hőmérsékletét és vezetőképességét érzékelő áramkörök sematikus rajza



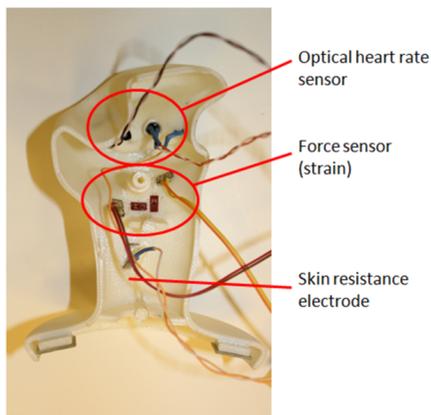
[1] John Allen: Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement, *Physiological Measurement*

[4] Bharati, S.–Gidveer, G. (2012): Waveform Analysis of Pulse Wave Detected in the Fingertip with PPG. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*.

[5] Spigulis, Janis (2005): Optical noninvasive monitoring of skin blood pulsations, *APPLIED OPTICS*, 44., (10.),

[6] Bhattacharya, J.–Kangilal, P. (2001): „Analysis and Characterization of Photoplethysmography Signal”. *IEEE Transaction on Biomedical Engg.* 48., (1.)

9. ábra. A markolat egyik fele beépített érzékelőkkel



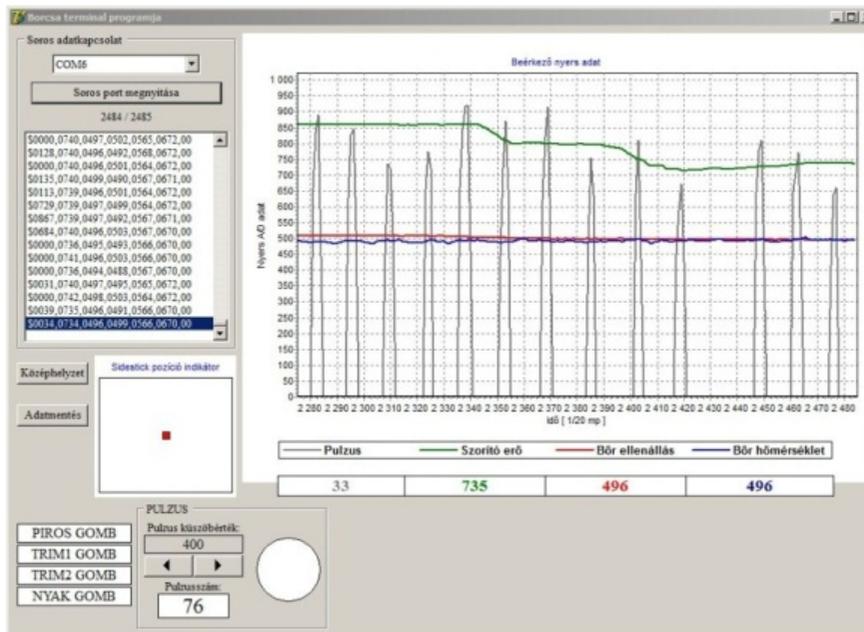
A markolaton az erőmérést nyúlásmérő bélyeggel valósították meg, amelyeket a fogantyú belső felületére ragasztottak.

### A PC-hez készült adatgyűjtő szoftver bemutatása

Ennek a programnak a fő szerepe az, hogy az összegyűjtött adatokat a vezérlőáramkörből USB-porton keresztül, VCP technológiával fogadja. A kapott adatokat a program feldolgozza, tárolja és megjeleníti. Az adatok a potenciométerekből származnak (botkormány pozíció), és a gombok egy 2 tengelyes, 4 gombos joystick-ként jeleni meg az operációs rendszerben.

A 10. ábrán a szoftver felhasználói felülete látható. A bal oldalon a kommunikációs és egyéb beállítások állíthatók be, míg a jobb oldal többi részén egy diagram látható. Ezen az ábrán a kapott adatok időben láthatók: a szürke vonal a pulzusérzékelőtől, a zöld vonal az alkalmazott erőérzékelőtől származik stb.

10. ábra. Egyedi fejlesztésű szoftverek felhasználói felülete



Az összegyűjtött adatokat a PC szöveges fájlokban tárolja, így könnyen importálható excelbe vagy más szoftverbe.

## Összefoglaló, jövőbeli fejlesztési lehetőségek

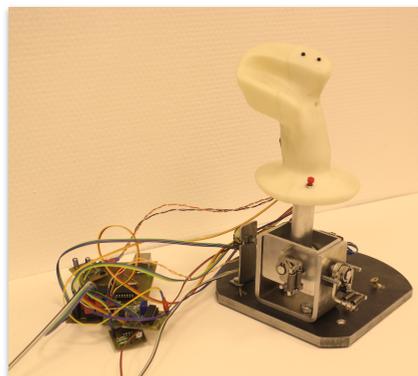
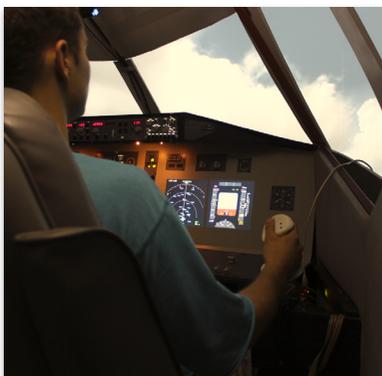
Összefoglalva elmondható, hogy ebben a tanulmányban egy innovatív, teljesen integrált eszköz fejlesztését és tesztelését mutatom be. Az eszköz alkalmas az emberi test néhány fiziológiai paraméterének mérésére, amelyek a repülőgép-pilóták mentális állapotát jellemzik. Ehhez a feladathoz minden szükséges hardver és szoftver kifejlesztésre került, számos tesztet hajtottak végre az eszköz megbízhatóságának bizonyítására. Az eszközt bármilyen repülésszimulátorba be lehet építeni, amely joystick eszközöket tud fogadni, míg a pilóták összegyűjtött fiziológiai adatait egy külön PC dolgozza fel.

Természetesen ez az eszköz többféleképpen is továbbfejleszhető:

- magasabb érzékenységű és pontosságú érzékelők alkalmazása
- Az A/D konverterek mintavételezési sebességének növelése
- A mechanizmus áttervezése, hogy robusztusabb és simább legyen a működés
- A teljes elektronika integrálása a markolatba

A jövőben a legfontosabb kérdés az, hogy a mért paraméterek hogyan jelzik a pilóta mentális állapotát. További méréseket, tesztek és vizsgálatokat igényel, orvosi szakértőkkel együtt.

*11. ábra. Beépített érzékelőkkel kifejlesztett botkormány (side stick)*



*Köszönetnyilvánítás:*

Jelen cikkben megjelenített eredményekhez az EFOP-3.6.1-16-2016-00003 K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen c. projekt által finanszírozott kutatások járultak hozzá. A közlemény megjelenését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap 2020-4.1.1-TKP2020 Tématerületi Kiválóság Programja finanszírozta. A projektet az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozza.

## *Költséghatékony műszer fejlesztésének bemutatása*

**Összefoglalás:** Ebben a cikkben egy innovatív barometrikus érzékelőt mutatok be. Az érzékelő és a csatlakoztatott szoftver sport- és szabadidős pilóták számára készült. A rendszer alapvetően egy intelligens barometrikus érzékelőből és egy okostelefonból áll. A barometrikus érzékelő méri és kiszámítja a nyomásmagasságot, a környezeti hőmérsékletet és a levegő áramlási sebességét. Az érzékelőben végzett számítások alapja kalibrációs folyamat eredményeiből született empirikus egyenletek, amelyhez a méréseket laboratóriumi körülmények között végeztünk. A barometrikus érzékelő rendszeres időközönként elküldi a kiszámított adatokat (például a légsebesség, a magasság, a függőleges sebesség és a hőmérséklet) egy okostelefonra Bluetooth vezeték nélküli kapcsolaton keresztül.

**Kulcsszavak:** Barometrikus szenzor, okosérzékelő fejlesztés, repülési műszer.

**Abstract:** In this paper an innovative new designed barometric sensor is introduced. The sensor and the connected software are designed for sport and recreational pilots. Basically, the equipment consists of an intelligent barometric sensor and a smartphone. The barometric sensor measure and compute the barometric altitude, the ambient temperature and the airspeed. The calculations made in the sensor are based on the result of wind tunnel calibrations and empirical equations. The barometric sensor sends the computed data (like the airspeed, the altitude, the vertical speed and the temperature) to a smartphone via bluetooth wireless connection periodically.

**Keywords:** Barometric sensor, flight instrument, sensor development.

\* *Dunaújvárosi Egyetem*

E-mail: nagy.andras@uniduna.

hu

## Bevezetés

Napjainkban az okostelefonok használata egyre szélesebb körben elterjedt. Ezeket az eszközöket operációs rendszer működteti, leggyakrabban Google Android, illetve az Apple iOS.

Az okostelefonok használata nem új ötlet a repüléstechnikai iparban, elsősorban a sport és a szabadidős repülés területén. Ma a technológia lehetővé teszi, hogy olyan intelligens érzékelőket fejlesszünk, amelyek megfizethető árak mellett vezeték nélkül képesek kommunikálni az okostelefonokkal. A sport- és szabadidős repülés magában foglalja a siklóernyőzést, a sárkányrepülést, a hőlégballont és a vitorlázórepülést. Ezen pilótáknak szükségük van pontos és nagyfelbontású mért adatokra (pl. a légköri nyomás, a környezeti hőmérséklet), illetve számított adatokra (pl. barometrikus magasság, légsebesség, függőleges sebesség). Számukra a fő információ a függőleges sebesség és a magasság, míg a hőlégballon pilóta számára a magasság, a szélesebb és szélirány különböző magasságokban, valamint a hőmérséklet-változás. Látható, hogy a korábban felsorolt alapadatok mérésére alkalmas érzékelő több alkalmazásban is használható, az egyetlen különbség az adatok feldolgozásában és kijelzésében van.

Fejlesztéseink során az általánosan használt adatokat egy általunk fejlesztett érzékelővel mérjük, amely a mért adatokat okostelefonra küldi. Az okostelefonra írt szoftver képes fogadni és feldolgozni a bejövő adatokat, és azokat a megfelelő formában megjeleníteni. Ez csökkentheti az eszköz árát azáltal, hogy nincs szükség kijelzőre és az azt meghajtó elektronikára, a fejlesztésnek csak az érzékelőkkel, a kalibrálással és a kommunikációval kell foglalkoznia. Emellett a kijelző hiánya alacsonyabb energiafelhasználást jelent, ami az üzemidőt jelentősen megnöveli. Nagyon rugalmas rendszert biztosít a felhasználói felület átprogramozhatósága miatt, könnyen módosítható a piaci igényekhez.

Ebben a cikkben egy olyan barometrikus érzékelő felépítését mutatom be, amely többféle adatot képes küldeni bluetooth vezeték nélküli protokollon keresztül. A vevőegység oldalán egy Androidra kifejlesztett szoftvert fut, amely képes a kapott adatokat megjeleníteni néhány más információval együtt. A szoftver az összes fogadott adatot több fájlformátumban is naplózhatja, például az IGC fájlt, amelyet más műszerek általában használnak a vitorlázásban, és amelyet a FAI is jóváhagyott a repülési adatok hiteles archiválásához.

## A barometrikus érzékelő bevezetése

A specifikációs szakaszban minden működési körülményt meg kell határozni, például a mért és számított értékek pontosságát és felbontását, az üzemi hőmérséklet-tartományt, a kommunikációs szabványokat és

egyebeket. Ezek az értékek piackutatások eredményeit is tartalmazzák, természetesen figyelembe vettük a pilóták igényeit. Az érzékelő gumibevonatú műanyag tokkal tervezzük ellátni, beépített akkumulátorral és töltővel.

A működés környezeti jellemzői:

- működési hőmérséklet tartomány:  $-10^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$
- tárolási hőmérséklet:  $-20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$
- vízállóság: min. 1 méter 10 percig
- teljesen UV-állónak kell lennie

Az érzékelőnek az alábbi értékeket kell mérnie:

a) Barometrikus nyomás:

- Tartomány: 15 és 115 kPa között
- Felbontás: 10 Pa
- Pontosság: 1.5% vagy  $\pm 40$  Pa, ami nagyobb

b) Környezeti hőmérséklet:

- Tartomány:  $-40$  és  $80^{\circ}\text{C}$  között
- Felbontás:  $0,1^{\circ}\text{C}$
- Pontosság:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

c) Légsebesség:

- Tartomány: 5–25 m/s
- Felbontás: 0,2 m/s
- Pontosság: 5% vagy  $\pm 1$  m/s, ami nagyobb

d) A beépített akkumulátor feszültsége:

- Tartomány: 2 és 5V között
- Felbontás: 20 mV
- Pontosság: 100 mV

A mért adatok alapján az érzékelő rendszeres időközönként a következő értékeket küldi el vezeték nélküli interfészen keresztül:

- légköri nyomás hPa-ban
- környezeti hőmérséklet °C-ban
- barometrikus magasság (QNE) méterben
- függőleges sebesség m/s-ban
- légsebesség km/h-ban
- beépített akkumulátor töltöttség százalékban

Az érzékelő fő részei az alábbiak szerint:

- Vezeték nélküli kapcsolatot biztosító adó-vevő
- Légköri nyomásérzékelő és jelkondicionáló
- Légsebesség-érzékelő és jelkondicionáló
- Tápellátás
- Hőmérséklet-érzékelés
- Mikrokontroller és kiegészítő áramkörök

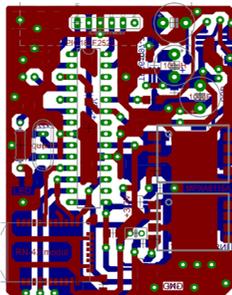
A kommunikáció Bluetooth-on keresztül történik az okostelefon és a barometrikus érzékelő között. Az okostelefonnak minden esetben inicializálnia kell a kapcsolatot, miután sikeresen párosította a két eszközt. A kapcsolat létrejötte után az érzékelő egy bájtot vár az okostelefonról. Ez a bájtt megmondja az érzékelőnek, hogy melyik programverzió hozta létre a kapcsolatot, és melyik módban kell az érzékelőt működtetni. Miután ez a bájtt megérkezett, az érzékelő elkezd a folyamatos adatküldést, ennek formája látható az 1. ábrán.

*1. ábra. A vezeték nélküli érzékelő által küldött adatfolyam szerkezete*

1. byte	2. byte	3. byte	4. byte	5. byte	6. byte	7. byte	8. byte	9. byte	10. byte
Barometric pressure [hPa]		Temperature [°C]	Barometric altitude [m]		Vertical speed [m/s]		Airspeed [km/h]		Battery level [%]

A megépített prototípus NYÁK-rajza a 2. ábrán látható. A prototípust gyors prototípus-készítési technikával gyártották, a NYÁK 60x70 mm méretű, és két réteggel rendelkezik. Ez a verzió funkcionális tesztesre, hardver in the loop fejlesztésre és kalibrációhoz került legyártásra.

2. ábra. Az érzékelő prototípusának NYÁK-terve



## Kalibrálási eljárások és eredmények

A szenzorok közül a nyomásérzékelőt és a légsebesség-érzékelőt nagy gondossággal kell kalibrálni. A többi szenzor kalibrálása a gyári adatlapban található értékekkel elvégezhető, ellenőrző mérésekkel validálható.

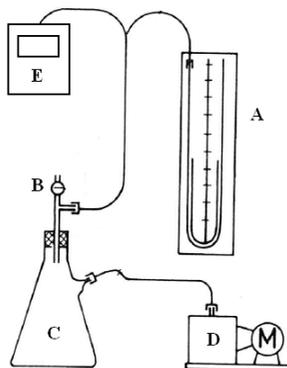
### A LÉGKÖRI NYOMÁSÉRZÉKELŐ KALIBRÁLÁSA

A nyomásérzékelő kalibrálása változtatható nyomású tartályban történt. A berendezés elrendezése a 3. ábrán látható.

A kalibráló berendezés a következőkből áll:

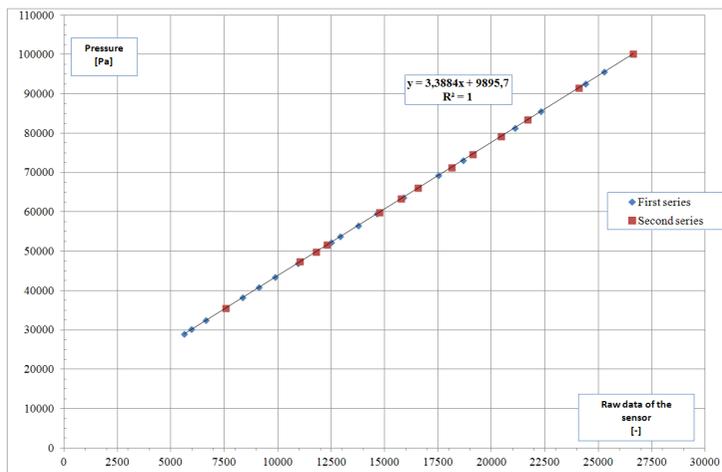
- U-csöves manométer (A-val jelölve)
- Légszelep (B-vel jelölve)
- Változtatható nyomású tartály (C-vel jelölve)
- Vákuumszivattyú (D-vel jelölve)
- Digitális nyomásmérő (E-vel jelölve)

3. ábra. A barometrikus nyomásérzékelő kalibrálásához használt berendezések



A kalibrációs eljárás első lépése az érzékelő elhelyezése a 3. ábrán C-vel jelölt tartályba. Ezután a B szelep zárásával és a D vákuumszivattyú bekapcsolásával csökkenthető a nyomás. Ha a C tartályban a nyomás elége lecsökkent a kalibráláshoz, a szivattyút kikapcsoltam, és lezártam a gumicsövet a D szivattyú és a C tartály között. Ezután fokozatosan növeltem a nyomást a B szelep kinyitásával, és a nyomásmérő által adott értékeket rögzítettem. Az eredményt diagramon ábrázoltam, ami a 4. ábrán látható.

4. ábra. A légköri nyomásérzékelő kalibrálásának eredménye



A végeredmény a kalibrációs egyenlet, ami az abszolút légköri nyomás előállítására szolgál az érzékelő által mért nyers adatokból. Ez az egyenlet 9000 méterig ad a specifikáció szerinti pontossággal eredményt, ami megfelelő egy olyan műszerhez, amelyet a sport- és szabadidős pilóták használnak.

A barometrikus magasság kiszámításához az alábbi empirikus egyenletet használtam:

$$H=42023,077 \cdot (1-(p/101325)^{0,1902841}),$$

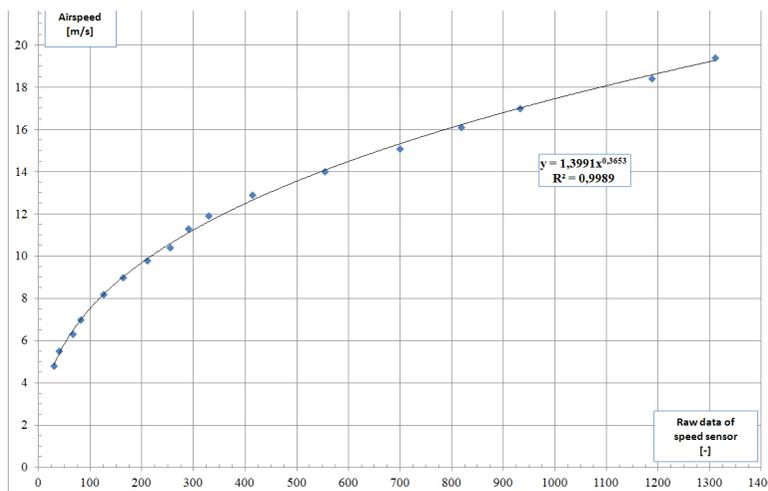
hol

- p a légköri nyomás az adott magasságban [Pa]-ban
- H a tengerszint feletti magasság [m]-ben

#### A LÉGSEBESSÉG-ÉRZÉKELŐ KALIBRÁLÁSA

A sebességérzékelő kalibrálása a BME Repülőgépek és Hajók Tanszék nyitott szélcsatornájában történt, amelyben a szélesebbesség 20 m/s-ig állítható. A kalibrálás során a szélesebbeséget 5 és 20 m/s közé állítottam, hozzávetőlegesen 1 m/s lépésekben, és az érzékelő által küldött nyers adatokat rögzítettem. Az eredmény az 5. ábrán látható a kalibrálás végeredményével együtt, amely a kalibrációs egyenlet. Ez egy exponenciális egyenlet, de nem túl bonyolult a mikrokontrollerben való megoldáshoz.

5. ábra. A légsebesség-érzékelő kalibrálásának eredménye



## Az okostelefonra kifejlesztett szoftver bemutatása

Az okostelefon szoftvere az Android operációs rendszerre fejlesztettük.

A szoftver funkciói az alábbiak szerint:

- Párosítás és csatlakozás kezdeményezése barometrikus érzékelővel
- Kezdeti információk küldése az érzékelőnek
- Légköri érzékelő által küldött adatfolyam fogadása
- A fogadott adatok megjelenítése testreszabható formában
- Az összes fogadott adat naplózása, ha a felhasználó engedélyezi ezt a funkciót
- Automatikus érzékelésű felszállási és leszállási események
- IGC fájl létrehozása leszállás után
- Kapcsolja ki a barometrikus érzékelőt, ha nincs használatban az akkumulátor energiájának megtakarítása érdekében
- A beépített GPS-be épített okostelefon alapján kiszámít és megjelenít számos siklásspecifikus adatot, például a siklási arányt,

## Összefoglalás

Ebben a cikkben egy innovatív barometrikus érzékelőt mutattam be. Az érzékelő és a hozzá tartozó szoftver sport- és szabadidős pilóták számára készült, alapvetően a rendszer egy intelligens barometrikus érzékelőből és egy okostelefonból áll. A barometrikus érzékelő méri és kiszámítja a barometrikus magasságot, a környezeti hőmérsékletet és a légsebességet. Az érzékelőben végzett számítások szélcsatorna mérések és az azokból felállított empirikus egyenletek eredményein alapulnak. A barometrikus érzékelő a számított adatokat rendszeres időközönként továbbítja egy okostelefonnak Bluetooth vezeték nélküli kapcsolaton keresztül. Az okostelefonban egy kifejezetten ehhez az alkalmazáshoz kifejlesztett szoftver fogadja az adatfolyamot, és testreszabható formában jeleníti meg az adatokat. A főképernyőn egy térkép jeleníthető meg, amely az okostelefon beépített GPS-vevője alapján mutatja a pilóta pillanatnyi helyzetét.

*Köszönetnyilvánítás:*

Jelen cikkben megjelenített eredményekhez az EFOP-3.6.1-16-2016-00003 K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaiújvárosi Egyetemen c. projekt által finanszírozott kutatások járultak hozzá. A közlemény megjelenését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap 2020-4.1.1-TKP2020 Tématerületi Kiválóság Programja finanszírozta. A projektet az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozza.

## Hivatkozások

- [1] Chris Winkler–Jeff Baum: Barometric Pressure Measurement Using Semiconductor Pressure Sensors; Freescale Semiconductor, Application Note AN1326
- [2] Parviainen, J., Kantola, J., Collin, J. (2008): Differential barometry in personal navigation; Position, Location and Navigation Symposium.
- [3] LIU Cheng–ZHOU Zhaoying–FU Xu (2007): Design method to improve micro altimeter resolution.



## *Költséghatékony műszer fejlesztésének bemutatás*

**Összefoglalás:** Az általános repülési balesetekben a járatok több mint 70 százaléka magánrepülésben történik, és ezek 72 százalékában a pilótákkal kapcsolatos tényezők a fő kiváltó okok. A pilótával kapcsolatos leggyakoribb hibák az irányítás elvesztése, a saját képességek és a repülőgépek teljesítményének túlbecsülése, a repülési szabályok megsértése és a rossz helyzetfelismerés. Bár ezek a pilóták jól képzettek, gyakorolják a veszélyes helyzeteket a pilótaképzés alatt és jól ismerik a következményeket, mégsem úgy repülnek, ahogy azt az adott helyzet megköveteli. Ez a baleseti arányok növekedését eredményezné.

A BME, Repülőgépek és Hajók Tanszékének Repülésszimulátor laboratóriumában teszt sorozatot végeztek a különböző képességekkel rendelkező pilóták jellemzőinek mérésére. Egy újonnan kifejlesztett botkormányt használtak, beépített érzékelőkkel. Ez a cikk betekintést nyújt a kifejlesztett szoftverbe és a mérésben használt rendszerbe, az elvégzett tesztek részleteibe, bemutatja és elemzi az eredményeket.

**Kulcsszavak:** Repülési balesetek, mentális állapot mérés, repülőgép irányítás, repülésszimulátor.

**Abstract:** In General Aviation accidents, more than 70 per cent of the flights are personal flights, and in 72 per cent of these flights, the major cause of accidents related to the pilots. The most common pilot related errors are loss of control, overestimation of own abilities and the power of aircraft, violation of the flight rules and wrong situation awareness. Although these pilots are well educated, trained, they practice the dangerous situations in the flight schools and know the consequences well, but not flying carefully.

In the Flight Simulator laboratory of Department of Aircraft and Ships, in Budapest University of Technology and Economics, a series of test were performed to measure the characteristics of pilots having different skills by using a newly developed side-stick with integrated skin resistance and heart beat

\* *Dunaújvárosi Egyetem*

E-mail: nagy.andras@uniduna.hu

\* *Dunaújvárosi Egyetem*

E-mail: jankovics.istvan@KJK.BME.hu

[1] Jankovics, I.–Hatfaludy, L.–Rohacs,D.–Rohacs, J. (2010): *Some Comments on the Aircraft Accident Statistics*. Repüléstudomány Konferencia 2010, Szolnok. ISSN 1789-770X [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2010\\_cikkek/Jankovics\\_R\\_Istvan\\_es\\_a\\_tobbiek.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2010_cikkek/Jankovics_R_Istvan_es_a_tobbiek.pdf) (2012 Apr.)

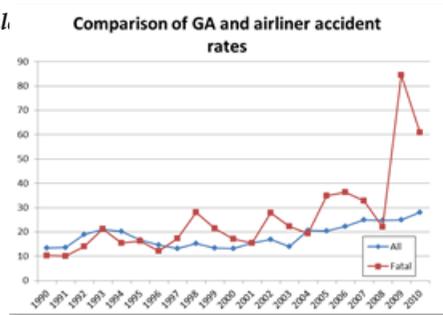
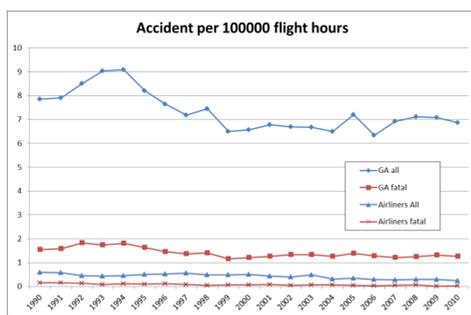
[2] Rohács, J.–Rohács, D.–Jankovics, I. (2010): *Safety Aspect and System Improvements for Personal Air Transportation System*. READ 2010. Warsaw.

counter sensors were used. New computer software was developed to log data coming from the sensors, flight parameters, and the reaction time of the pilots. Different pilots with different skills and flight experience were tested in many flight situations with different stress levels. The paper gives insight into the developed software and the system used in measurement, the details of performed tests, shows and analyses the results.

**Keywords:** General aviation accidents, workload measurement, mental state, physiological parameters, heart rate, flight control, flight simulator.

## Bevezetés

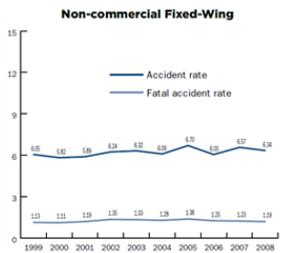
A magánrepülések, a General Aviation (GA) további növekedése, különösen az új személyszállítási rendszer a jövőben több új kis repülőgépet, több „GA-szerű” pilótát igényel, de kevesebb gyakorlattal és kevesebb készséggel. Ezek szintén pilótaengedéllyel rendelkező pilóták, de kevesebbet fognak tudni a repülés elméletéről, a tényleges körülményekről és így tovább. Az általános repülés baleseti és halálos baleseti arányai a repülőgépek üzemeltetéséhez képest 10-30-szor rosszabb baleseti statisztikákat eredményeznek [1, 2].



Az AOPA adatbázisából a nem kereskedelmi célú merevszárnyú repülőgépek statisztikái ugyanazt a tendenciát mutatják, mint a teljes GA statisztikák. A nem kereskedelmi célú merevszárnyú repülőgépek baleseti aránya azt mutatja, hogy a magán

repülések aránya a legmagasabb, több mint 70%, míg az oktatói repülések a második helyen követik, mindössze 8–15% -kal, az AOPA 2008-as statisztikái szerint. A számok minden évben azonosak, csak kis változásokkal.

2. ábra. A nem kereskedelmi célú, merevszárnyú repülőgépek baleseteinek aránya és a balesetek száma üzemtípusonként [5]



Type of Operation: Non-Commercial Fixed-Wing			
Type of Operation	Accidents	Fatal Accidents	Fatalities
<b>Personal</b>	927 (73%)	186 (77%)	319 (74%)
<b>Instructional</b>	194 (15%)	19 (8%)	31 (7%)
<b>Public use</b>	10 (1%)	1 (< 1%)	1 (< 1%)
<b>Positioning</b>	19 (1%)	3 (1%)	3 (1%)
<b>Aerial observation</b>	11 (1%)	5 (2%)	11 (3%)
<b>Business</b>	33 (3%)	8 (3%)	27 (6%)
<b>Other working use</b>	48 (4%)	11 (5%)	17 (4%)
<b>Other*</b>	30 (2%)	8 (4%)	24 (6%)

Ha megnézzük a magán repülési balesetek statisztikáinak fő okait, a fő okok a pilótákhoz kapcsolódnak, minden évben körülbelül 70% -kal, míg a mechanikus és egyéb vagy ismeretlen okok a fennmaradó 30%. A 3. ábra a 2008-as eredményeket mutatja az AOPA statisztikáiból.

3. ábra. A balesetek fő oka [5]

Causes of Accidents in 2008		
Major Cause	All Accidents	Fatal Accidents
Pilot related	72%	71%
Mechanical	14%	8%
Other or unknown	14%	21%

A különböző szervezetek baleseti jelentéseiben végzett kutatások [3,4,5] azt mutatják, hogy a leggyakoribb hibák a következő kategóriákba sorolhatók:

- Az irányíthatóság elvesztése (átesés, dugóhúzó)
- Saját képességek túlbecsülése
- A repülőgép teljesítményének vagy képességeinek túlbecsülése
- A repülési szabályok megsértése (rendszeresen)
- Helytelen vagy lassú helyzetfelismerés

[3] NTSB, National transportation Safety Board, <http://www.ntsb.gov>

[4] FAA, Federal Aviation Administration <http://www.FAA.gov>

[5] AOPA, Aircraft Owners and Pilots Association, <http://www.aopa.org>

[7] Review of Workload Measurement, Analysis and Interpretation Methods, CARE-Integra-TRS-130-02-WP2, [http://www.eurocontrol.int/integra/gallery/content/public/documents/expt\\_def\\_wp2\\_final.pdf](http://www.eurocontrol.int/integra/gallery/content/public/documents/expt_def_wp2_final.pdf) (09.12.2012)

[8] NATO Guidelines on Human Engineering Testing and Evaluation, RTO Technical Report 21, [http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-021///TR-021-\\$\\$\\$ALL.pdf](http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-021///TR-021-$$$ALL.pdf) (09.01.2012)

[9] Spyker, D. A.–Stackhouse, S. P.–Khalafalla, A. S.–McLane, R. C. (1971): *Development of Techniques for Measuring Pilot Workload*, NASA CR-1888, November 1971.

[10] Schweitzer, A.–Hillebrand, A.: Pilot's Workload Measurement at Researcher's Desktop [http://www.pegasus-europe.org/AIAA\\_Pegasus/Papers/Schweitzer\\_Salon.pdf](http://www.pegasus-europe.org/AIAA_Pegasus/Papers/Schweitzer_Salon.pdf) (07. 11. 2012)

Többnyire ezeknek a pilótával kapcsolatos hibáknak valamilyen kombinációja vezet balesethez, még akkor is, ha azt vezetett földnek ütközésnek is minősítik, ami a fent említett utolsó két hiba eredményeként írható le.

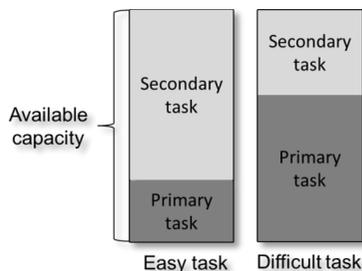
Ahogy GA növekszik és egyre több pilóta fog korlátozott készségekkel és tapasztalattal repülni, a balesetek aránya növekedni fog. Kétféleképpen lehet megelőzni a pilótával kapcsolatos baleseteket, és tartani vagy csökkenteni a baleseti statisztikát.

Az első módszer a különböző rendszerek használata, a pilótát segítő rendszerektől a teljesen önállóan repülő repülőgépekig, ahol a pilóta szinte csak utas. Bár a technológia készen áll egy ilyen rendszer kifejlesztésére és sok rendszer már létezik elég magas áron, ami megakadályozza az elterjedésüket.

A másik út kifinomultabb. Ha mérni tudjuk a pilóták mentális állapotát, munkaterhelését, és meg tudjuk jósolni az aktuális tényleges kapacitásukat, akkor figyelmeztethetjük őket. Néha egy egyszerű figyelmeztetés a megfelelő időben megakadályozhatja vagy megszakíthatja a folyamatot, ami balesethez vezet. Egy ilyen rendszer olcsóbb lehet, és nagyobb társadalmi elfogadottsággal rendelkezhet, mint a teljes autonóm rendszerek.

A pilóta munkaterhelésének objektív mérése különböző módon végezhető el [7,8,9,10]. Az első a pilóta teljesítményének mérése, miközben különböző feladatokat lát el. Ennek a módszernek az a célja, hogy értékelje a pilóták szabad kapacitását, amely felhasználható más, nem repülési feladatokra, például navigációra, különböző légijármű-rendszerek üzemeltetésére stb. A 4-es ábra annak egyszerűsített modelljét mutatja, hogy a pilóták hogyan használják fel erőforrásaikat különböző nehézségű feladatok elvégzésére [10]. Ha a pilóta egy egyszerű feladatot hajt végre (amelyet elsődleges feladatnak neveznek), akkor csak kis mennyiségű rendelkezésre álló kapacitást használ fel, a többi pedig más feladatok elvégzésére lehet használni (ezt másodlagos feladatnak nevezik). Ha egy ideig feltételezzük, hogy a rendelkezésre álló erőforrások nem változnak idővel, de az elsődleges feladat nehézsége növekszik, a második feladat elvégzéséhez szükséges szabad kapacitás mértéke csökken, és több időt igényel az adott feladat befejezéséhez. Ez az idő mérhető, és fordított arányban áll a munkaterheléssel.

4. ábra. A pilóta egyszerűsített erőforrásmodellje



Más objektív eljárások a pilóták néhány fiziológiai vagy biokémiai paraméterének mérésén alapulnak [7,8]. Ezek azon a feltevésen alapulnak, hogy a munkaterhelés mértéke fiziológiai változásokat idéz elő, és a túlterhelt ember a pulzusszám, a bőr vezetőképessége stb. növekedését tapasztalhatja. Ezek lehetnek eseményfüggő értékek (ERP-k), a pulzusszám, a pulzusszám-változás (HRV), a pupillák átmérője, pislogás intenzitása, stb. Némelyikük nehezen mérhető vagy összetett rendszereket igényel, mások laboratóriumi vizsgálatokat igényelnek. Ebben a munkában a pulzusszám, a HRV és a bőr vezetőképességének mérését választjuk, mert alacsony költséggel és a pilótára nézve veszélytelenül alkalmazhatóak, bár ezen paraméterek és a munkaterhelés közötti kapcsolat még mindig kérdéseket vet fel.

## Tesztpad

### Szimulátor:

A különböző képességekkel rendelkező pilóták jellemzése és teljesítményük összehasonlítása ugyanazon feladatok végrehajtása közben tökéletesnek tűnt a BME Repülőgépek és Hajók Tanszékének repülésszimulátor laboratóriuma. A pilóta fiziológiai paramétereinek és tényleges munkaterhelésének mérésére a legjobb módszert kellett kiválasztani, és a rendelkezésre álló szimulátor adja a legjobb lehetőséget ebben a vizsgálatban.

[7] Review of Workload Measurement, Analysis and Interpretation Methods, CARE-Integra-TRS-130-02-WP2, [http://www.eurocontrol.int/integra/gallery/content/public/documents/expt\\_def\\_wp2\\_final.pdf](http://www.eurocontrol.int/integra/gallery/content/public/documents/expt_def_wp2_final.pdf) (09.12.2012)

[8] NATO Guidelines on Human Engineering Testing and Evaluation, RTO Technical Report 21, [http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-021/TR-021-\\$\\$ALL.pdf](http://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/TR/RTO-TR-021/TR-021-$$ALL.pdf) (09.01.2012)

A repülésszimulátor egy fix bázisú szimulátor, amelyet 2002-ben építettek egykori hallgatók és a tanszék munkatársai. A szimulátoros laboratórium számos korszerűsítése megtörtént, de az utolsó és legnagyobb munkát 2010-ben végezték el. A korszerűsítés során új hardvermodulokat és szoftvereket fejlesztettek ki. A szimulátor pilótafülkéje Boeing 737-es elrendezésű. A különbség a vezérlőkben van. A bal oldalon egy hagyományos szarvkormány, míg a jobb oldalon egy sidestick található. A repülés mindkét oldalról vezérelhető. A szimulátor működéséhez 3 db PC elegendő. Az egyik futtatja a szimulátor szoftvert, amely a Microsoft Flight Simulator. További 2 db szolgálja ki a kapcsolókat, gombokat, kijelzőket a pilótafülkében LAN hálózaton és CAN busz rendszeren keresztül. További PC-k csatlakoztathatók TCP/IP hálózaton keresztül. A valódi repülőgépek felső paneljének helyén ez a szimulátor 23 „széles érintőképernyővel” rendelkezik (5-ös ábra). Ezen a képernyőn keresztül a pilóták virtuális felső panelként léphetnek kapcsolatba a szimulált repülőgépek rendszereivel, és sok más szoftver is futhat a vizsgálat céljának megfelelően.

*5. ábra. balra: Szimulátor laboratórium, jobbra: pilótafülke érintőképernyővel a felső panel helyén*



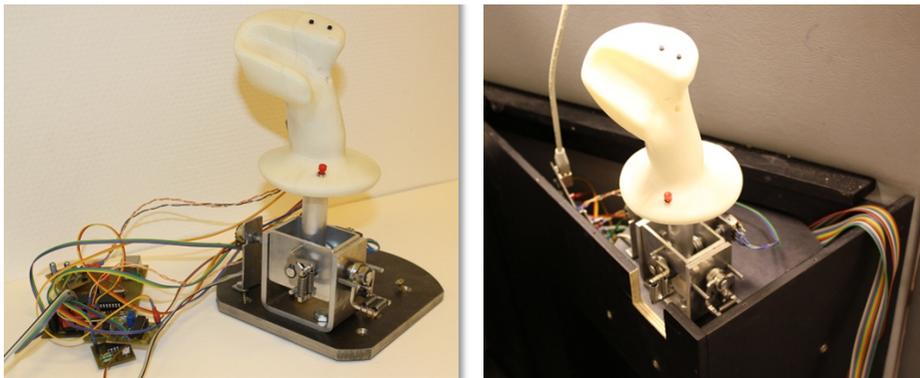
### **Sidestick:**

A kiválasztott fiziológiai paraméterek méréséhez, a pilóta munkaterhelésében és mentális állapotában bekövetkező változások azonosításához egy sidestick integrált szenzorokkal (6. ábra). [6]. Ez egy pulzusről, bőrvezetőképesség érzékelőből, bőrhőmérséklet-érzékelőből és nyúlásmérőkből áll, amelyek mérik a pilóta által a fogantyún alkalmazott fogási erőt.

A pulzusmérés fotopletizmográfián (PPG) alapul, infravörös fotó LED-del és fotótranzisztorral, amelyet a pilóta mutatóujja alatt helyeznek el a fogantyúban. A bőrvezető szenzorok azt mérik, hogy mennyire izzadt a pilóták tenyere, míg a hőmérséklet-érzékelő a pilóta bőrhőmérsékletére vonatkozó információkat szolgáltat.

Egy alapvető mechanizmust is kifejlesztettek a szimulátorban tervezett markolat használatára. Ez a mechanizmus biztosítja az érzékelőrendszer későbbi változásainak előnyét. Ha szükségessé válik egy jobb, újabb kialakítású fogantyú használata más érzékelőkkel, akkor az univerzális interfésznek köszönhetően az könnyen megváltoztatható.

**6. ábra. Kifejlesztett sidestick beépített érzékelőkkel [6]**



Az integrált rendszer fejlesztése azért szükséges, mert az ilyen típusú mérőrendszerek elfogadása magasabb, mint a pilóta testéhez csatolt más rendszerek, ami kényelmetlen és zavaró lehet. Ha a pilótáknak valamilyen mérőrendszert kell viselniük, és repülés előtt fel kell venniük, egyszerűen elfelejthetik vagy figyelmen kívül hagyhatják. Sok rendszer megköveteli a szakemberektől, hogy érzékelőket helyezzenek el, ami nem jellemző a napi repülések során, különösen a kevésbé képzett pilóták esetében. Ezért olyan integrált érzékelőkkel rendelkező rendszert kell használni, ahol a pilóták nem tudják megkerülni a rendszert. Amint azt már megvitattuk, más módszereket és rendszereket kell használni a pilóta munkaterhelésének mérésére a repülés közbeni fiziológiai paraméterek mérésével, mint például a szemkövetés és a pislogás számát mérő rendszerek. Ezeket a rendszereket a kisrepülőgépek alapfelszereltségeként beépíteni nem könnyű feladat, mert ezeknek viszonylag magas ára van, amit a kis repülőgépek árérzékeny felhasználói nem engedhetnek meg maguknak. A kifejlesztett rendszer nem igényel speciális, drága hardverelemeket. A rendszer a szimulátor negyedik számítógépéhez csatlakozik, amely a kifejlesztett adatgyűjtő szoftvert futtatja. A hardver a mért és feldolgozott adatokat virtuális com porton (VCP) keresztül küldi a számítógépre, ahol az adatok tárolódnak.

### **Adatgyűjtő szoftver:**

Az adatgyűjtési szoftvert Delphi környezetben írták meg, ezzel adatokat gyűjtenek a szimulátorról, az integrált érzékelőkről, és mérik a pilóták reakcióidejét a tesztrepülések során.

A tesztek során a Microsoft Flight Simulatort (MSFS) használták, de a kereskedelmi repülésszimulátor szoftver (X-plane, FlightGear) is használható tesztekhez, mert a szimulációs szoftver egyetlen feladata, hogy a repülés élményét nagy pontossággal biztosítsa a fizikában és az észlelésben. Az MSFS-t használó szimulátorlaboratórium alapvető szoftverkonfigurációja a demonstrációhoz és a kísérleti vagy pilótafülkével kapcsolatos vizsgálatokhoz, így a szoftverváltásra nem volt szükség.

Másrészt az MSFS egyszerű módot kínál az FSUIPC modul használatával a különböző repülési adatok kiolvasására és a vizsgálatokban való felhasználására. A repülési tesztek során a következő repülési adatokat gyűjtötték:

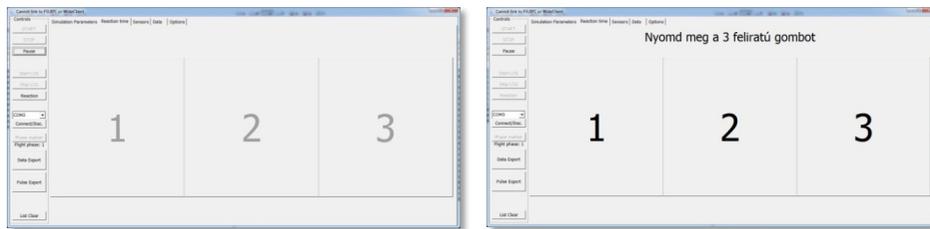
- A repülőgép helyzete (GPS-koordináták, irány, hangmagasság, dőlésszögek)
- Repülési sebesség (IAS)
- Magasság (barometrikus, rádió)
- Függőleges sebesség
- A kezelőszervek helyzete (lift, csűrő, kormánylapát, fojtószelep, szárnyak)
- Terhelési tényező

Az integrált érzékelők adatait virtuális soros kapcsolaton keresztül gyűjtik, és a repülési adatokkal együtt tárolják.

A reakcióidő mérése, valójában nem valós reakcióidő-mérés, hanem a kifejlesztett szoftver által adott másodlagos feladat elvégzéséhez szükséges idő mérése. A másodlagos feladat lehető legjobb elvégzéséhez szükséges idő fordított arányban áll a pilóták szabad kapacitásával, amint azt korábban tárgyaltuk.

A szoftver véletlenszerű gyakorisággal másodlagos feladatot ad. Különböző lehetséges másodlagos feladatok használhatók. Minden feladat rengetegerőforrást igényel a pilótáktól, ezért sok különböző feladatot kell megvizsgálni, mielőtt kiválasztanánk a legjobbat. Az első tesztekhez a legegyszerűbbet választották. A másodlagos feladat aktiválásakor egy hangos figyelmeztetés figyelmezteti a pilótákat az új feladatra, és egy rövid utasítás jelenik meg a kifejlesztett szoftver grafikus felhasználói felületén (7. ábra). A pilótáknak el kell olvasniuk az utasítást, és a véletlenszerűen generált utasításnak megfelelően meg kell nyomniuk a jobb gombot. Az esemény kiváltásától a három gomb megnyomásáig eltelt időt mérik és elmentik a rossz válaszok számával, a repülési adatokkal és az érzékelő adataival együtt későbbi elemzés céljából.

7. ábra. A kifejlesztett szoftver grafikus felhatalnóli felülete



### Tesztrepülések rendszere és értékelése

Az első repülésiteszteket különböző pilóták végezték. Egyrészt a teszt valódi célja az volt, hogy a kifejlesztett sidestick integrált érzékelőit teszteljék és megtudják a további fejlesztések fő irányait. Másrészt elkezdtük vizsgálni, hogy melyik munkaterhelés mérési módszer adja a legjelentősebb eredményeket, a legkisebb hatással az elsődleges feladatok teljesítményére, miközben továbbra is használható a széles körű készségekkel és tapasztalattal rendelkező pilóták számára. A túl könnyű másodlagos feladat nem mutathat változást a reakcióidőben a különböző repülési fázisokban, ha a pilóta tapasztalt és jól képzett. A bonyolultabb másodlagos feladat túlterhelheti a kevésbé képzett pilótákat, ami azt jelenti, hogy a másodlagos feladat jelentősen befolyásolja az elsődleges feladat teljesítményét, és ennek eredményeként a mért repülési tulajdonságai rosszabbnak tűnnek.

Elsődleges feladatként egy reális repülési forgatókönyvet választottunk, a rendelkezésre álló szimulátor jellemzői szerint. A vizsgálat célja a kisrepülőgépek pilótáinak tesztelése volt, de a szimulátor a műszerek jelenlegi konfigurációjában nem teszi lehetővé a kis repülőgépek szimulációját, új fejlesztéseket igényel, különösen az új műszerszoftverek programozását. Ennek ellenére a jelenlegi konfiguráció a hardver tesztelésére, különböző másodlagos feladatokra és néhány előzetes eredményre szolgál.

Az első repülési feladat nagyobb szabadságot adott a pilótának. A levegőben indult, 2500 láb, állandó légsebességgel. A pilótának egy ideig egyenesen kellett repülnie állandó magasságban és sebességgel, majd állandó sebességgel kellett megkezdenie egy adott magasságba való emelkedést. Néhány perccel később a pilótákat arra utasították, hogy egy 360 fokos bal oldali fordulót hajtsanak végre adott magasságban, állandó sebességgel. Ezt követte egy egyenes repülés azonos magasságban, azonos légsebességgel. Néhány perccel később azt a parancsot kapta, hogy ereszkedjen le 3500 láb, majd közelítse meg a kifutópályát. A megközelítés módja és a kifutópálya utolsó fordulójának helye a pilóták belátása szerint történt.

A második forgatókönyv határozottabb volt. A pilótának normál felszállási manővert kellett végrehajtania 2500 lábra emelkedéssel, és el kellett érnie a 250 csomós sebességet az első 180fokos jobb kanyar jól meghatározott pontja előtt. A fordulópontot egy adott VOR állomástól való távolság határozta meg. A fordulót azonos magasságban, azonos légsebességgel kellett végrehajtani. Ezt követően egy lefelé tartó szakaszon a pilótáknak egyenesen kellett repülniük a második 180 fokos fordulóig, amelyet szintén az ugyanazon VOR-állomástól való távolság határozott meg. A forduló után a pilótáknak lassítaniuk kellett a repülőgépet, megközelíteniük a kifutópályát és le kellett szállniuk.

A tesztek során a repülési adatokat és az érzékelők adatait a pilóták által a másodlagos feladatokra adott reakcióidővel együtt gyűjtötték. A másodlagos feladatokat véletlenszerűen adták 10-20 másodperc között. A pilótákat arra kérték, hogy az első feladatot a lehető legjobban végezzék el, majd a szabad kapacitást másodlagos feladatra fordítsák.

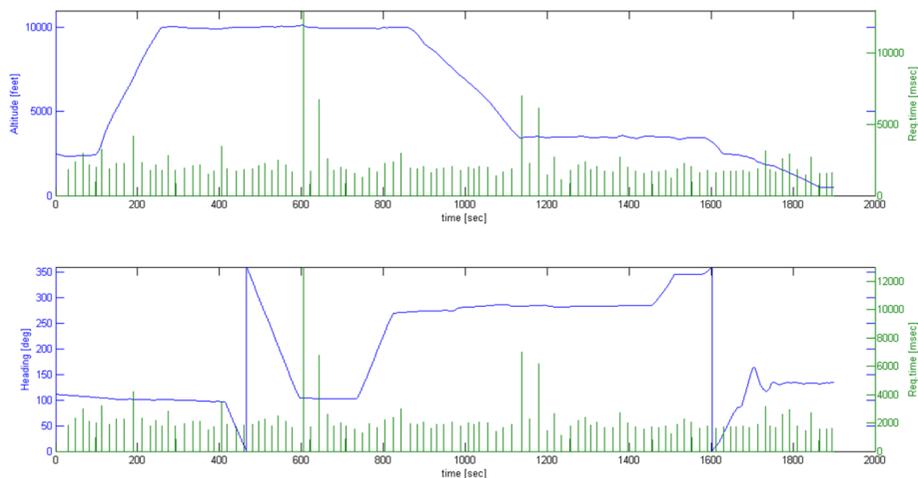
Az összegyűjtött adatok mellett videofájlokat is készítettek a teszteredmények utólagos értékelésének alátámasztására.

A beépített szenzorokkal ellátott sidestick jól teljesített, csak néhány kisebb probléma történt az érzékelőkkel, amelyeket meg kell oldani a pulzusszám értékeléséhez.

A másodlagos feladatok is jók voltak, de több tesztet igényel más típusú és összetettebb másodlagos feladatokkal. A másodlagos feladatok közötti időintervallum elegendőnek tűnik, de hosszú tesztrepülésekre van szükség ahhoz, hogy elegendő mennyiségű mérést biztosítson. Másrészt a kisebb időintervallumok nagyobb befolyást gyakorolnának az elsődleges feladatok teljesítményére.

A már értékelt tesztrepülések eredményei érdekes, de várt eredményeket mutatnak. 8. ábra. az első típusú repülési forgatókönyv egyik tesztrepülését mutatja. Az első ábrán a kék vonal a repülési magasságot jelöli az idő múlásával, míg a diszkrét zöld vonalak a mért reakcióidőt jelölik. Az első repülési forgatókönyv minden fázisa könnyen azonosítható. A második ábrán a kék vonal a repülés időbeli alakulását, a zöld vonalak pedig a reakcióidőt jelölik. Világosan látható, hogy az egyik repülési módról a másikra történő váltás során a reakcióidő rövid távú növekedése következik be. Az emelkedés vagy kanyarodás megkezdése, a fordulatról az egyenes repülésre vagy az ereszkedésről a szintrepülésre való felépülés mérhető növekedést okoz a reakcióidőben. Ezen növekedések némelyike jelentősen magas, miután 12,5 másodpercig tartott, ami nem volt nyilvánvaló, hogy miért történt. A tesztek videofájljai helyes választ adtak. A második feladat pontosan akkor indult el, amikor a pilóta 360 fokos fordulatról helyreállítási manővert kezdeményezett, hogy egyenesen repüljön. A hangos figyelmeztetés figyelmeztette a pilótát, de tudat alatt figyelmen kívül hagyta. Ugyanez történt sokszor különböző pilótákkal a választott figyelmeztető hang ellenére, amely nagyon hangos és bosszantó volt. Az ilyen viselkedés mechanizmusának megértéséhez további vizsgálatokba bevont orvosszakértőkre van szükség.

8. ábra. Egy tesztrepülés magassága, repülési iránya és mért reakcióideje



A vizsgálat egyéb eredményei a leszállási fázissal kapcsolatosak. Az első repülési forgatókönyv esetén a reakcióidők körülbelül 1 másodperces állandó növekedést mutatnak a leszállás során, összehasonlítva az egyenes repülés során mért átlagos reakcióidővel. A mért idők eltérése a leszállás során is nőtt. Ezt a jelenséget nem mérték a második típusú repülési forgatókönyv esetében, bár a mért reakcióidős eltérése is nőtt az egyenes repülés során mért értékekhez képest. A második típusú forgatókönyv a forgalmi mintát használta, amely biztosítja a megfelelő pozíciót a megközelítéshez a második 180 fokos forduló végén az alkalmazott korlátozások miatt. Az első forgatókönyv nagyobb szabadságot adott a pilótának azzal az eséllyel, hogy rosszul közelítsen az utolsó kanyarhoz, amikor rövidebb idő maradt a helyes megközelítési útvonalra. Ez az eset nagyobb munkaterhelést eredményezett, ami azt jelenti, hogy a másodlagos feladatok elvégzéséhez több időre van szükség.

## Következtetések és jövőbeli fejlemények

Mivel minden évben a pilóták hibája által okozott kisrepülőgép balesetek az összes baleset mintegy 70%-át adja, a különböző képességekkel rendelkező pilóták jellemzőinek megismerése, különösen a kevésbé képzett pilóták esetében, nagyon fontos feladat. A pilóták viselkedésük, szabad kapacitásuk függvényé-

ben képesek időben meghozni a döntését egy szituációban, vagy bármilyen kitérő manővert megkezdhesen a különböző közeledő veszélyes helyzetek elkerülése érdekében.

Az emberi pilóták viselkedésének megismerése érdekében a BME Repülőgépek és Hajók Tanszékének repülésszimulátor laboratóriumában a tesztpilóta élettani állapotának mérésére egy integrált szenzoros sidesticket építettek a tesztpilóta élettani állapotának mérésére a repülésszimulátor laboratóriumában.

A sidestick képes mérni a pilóták pulzusát, a pulzusszám változását, a bőr vezetőképességét, a tenyér hőmérsékletét és a markolatra kifejtett erőt. Az adatokat a kifejlesztett szoftverhez tudja küldeni, amely a repülési adatokkal együtt elmenti azokat. TCP/IP kapcsolaton keresztül kommunikál a repülőgép-szimulátorral és az érzékelőkkel a virtuális soros porton keresztül. A szoftver másodlagos feladatokat ad a pilótáknak, hogy mérjék meg szabad erőforrás-kapacitásukat, hogy információt szerezzenek az alanyok munkaterheléséről, és segít megtalálni a munkaterhelés becslésének módját a mért fiziológiai paraméterekből.

Ez a cikk betekintést engedett a fejlett sidestick integrált érzékelőkkel történő alkalmazásába, beszélt egy módszerről, hogyan lehet mérni a pilóták munkaterhelését repülésszimulátorban, valamint a szükséges fejlesztésekről.

A rendszer és a hardver további fejlesztésekre szorul. Az érzékelőket javítani kell az érzékelt értékek megbízhatóságának növelése érdekében. Néhány változtatásra volt szükség a szimulátorban, hogy szimulálják egy kisrepülőgép általános paramétereit és repülési jellemzőit a légi közlekedés ezen területén használt eszközökkel. A reakcióidő mérésére használt módszer további vizsgálatot igényel, hogy jobban illeszkedjen a pilóták képességeinek széles tartományban történő mérésére vonatkozó követelményekhez.

#### *Köszönetnyilvánítás:*

Jelen cikkben megjelenített eredményekhez az EFOP-3.6.1-16-2016-00003 K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen c. projekt által finanszírozott kutatások járultak hozzá. A közlemény megjelenését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap 2020-4.1.1-TKP2020 Tématerületi Kiválóság Programja finanszírozta. A projektet az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozza.

## *Siklóernyők fejlődésének történeti áttekintése*

**Összefoglalás:** Ebben a cikkben a siklóernyők fejlődésének történetét mutatom be közérthető nyelven, néhány technikai paraméter kiemelésével. A siklóernyő egy speciális kisméretű légieszköz, teljesen hajlékony szárnyal rendelkezik, a súlypontja pedig mélyen az aerodinamikai középpont alatt helyezkedik el. Ez különleges, más repülőeszköznél nem tapasztalható repülésmechanikai tulajdonságokat kölcsönöz neki. A siklóernyőzés széles körűen elterjedt és a viszonylag fiatal sport, a kupola gyártásához „hi-tech” alapanyagokat alkalmaznak. A cikkben konkrét adatokkal került bemutatásra a fejlődéstörténet, például a siklószám vagy a zsinórhossz adatok összehasonlításával.

**Kulcsszavak:** Siklóernyő, fejlődéstörténet, siklószám.

**Abstract:** In this article, The history of the development of paragliders is presented, highlighting some technical parameters. A paraglider is a special small-sized aerial vehicle, it has a fully flexible wing, and its center of gravity is located deep below the aerodynamic center. This gives a special flight mechanics properties to it, that are not present with other aircraft. Paragliding is widely spread and the relatively young sport uses „hi-tech” raw materials for the production of the canopy. In the article, the development history was presented with specific data, for example by comparing the data of the gliding ratio or the total length of line.

**Keywords:** Paraglider, history of development, gliding ratio.

### Bevezetés

Jelen cikkben egy speciális kisméretű légieszköz fejlődését mutatom be, a siklóernyőjét. A siklóernyőzés széles körűen elterjedt és a viszonylag fiatal sport, a kupola gyártásához „hi-tech” alapanyagokat alkalmaznak. A sikló-

\* *Dunaújvárosi Egyetem*  
E-mail: nagy.andras@uniduna.hu

[2] Miller, F. P.–Vandome, A. F.–McBrewster, J. (2010): *Domina Jalbert, Alphascript Publishing*,

[3] Deutscher Hängegleiterverband e.V.: *Video-Rückblick Jahrestagung 2009*, internetes forrás, [Letöltve: 2021. 10. 04.] <http://www.dhv.de/web/index.php?id=5567>

[4] Schürch, R.: *Gleitschirm* 1996.,(1–2.), P. 40. ford.: Szabóné Koleszár Edina, lektor: Szabó Péter (<http://www.felhout.hu/setortenete>)

[5] *Siklóernyőzés története*, internetes forrás, [Letöltve 2021. 11. 10] <http://www.uno-aventure.com/extra/parapente.php>

ernyő-szerű légieszközök fejlődését az ejtőernyőzésig lehet visszavezetni. Az első légcéllás ejtőernyők (paplanernyők) 1964-ben jelentek meg, amikor a kanadai Domina Jalbert [2] által tervezett légcéllás ejtőernyőt bemutatták. Ezek az ejtőernyők szárnyprofilszerű profillal rendelkeznek, haladási sebességüknek függőleges és vízszintes irányú komponensei is zérustól különbözők, így lehetőség van a kialakított kormányrendszerrel az ejtőernyő irányítására is. Az 1970-es években az Egyesült Államokban végeztek hegyi startot paplanernyőkkel, de az ekkortájt széles körben terjedő sárkányrepülő a jobb teljesítménye miatt a háttérbe szorította a paplanernyős repülést. A sárkányrepülés rohamos, talán túl gyors terjedésével a balesetek száma is jelentőssé vált, ami összetörte a mindenki által könnyen kezelhető repülőeszköz képet, így a sárkányrepülésből nem vált igazi tömegsport. Közben a paplanernyővel végzett hegyi repülés egyre ismertebb lett, a hegymászók a hegyről gyorsabban történő lejutás miatt, az ejtőernyősök pedig a földet érés gyakorlására használták. 1974-ben Dr. Dieter Strasilla [3] megtervezte és megépítette 9 cellából álló, 32 m<sup>2</sup> felületű paplanernyőjét, amit kimondottan a hegyre való gyors fel és arról történő gyors lejutás követelményei szerint fejlesztett ki (1. ábra).

**1. ábra. Egyik első siklóernyő, 1974-ből**



A siklóernyő története azonban nem ezen az úton folytatódott tovább [4]. 1978-ban, olvasva az ejtőernyősöknek íródott, kisdombos gyakorlásról szóló könyvet, Gérard Bosson, Jead Claude Betemps és Dan Poynters [5] kijártak paplanernyőjükkel a Francia Alpokban fekvő Mieussy város melletti Pertuiset

hegyre lesiklásokat végezni. Az 1000 méteres szintkülönbséget az ejtőernyőnek tervezett Stratocloud nevű ernyőjük hamar leküzdötte, de bebizonyosodott, hogy a siklás lehetséges ilyen módon. Hamarosan többen csatlakoztak hozzájuk és megalapították a Les Choucas nevű klubbot. 1979-ben a sárkányrepülés világbajnokságon bemutatták, hogy milyen technikával lehetséges paplanernyővel lesiklani a hegyről, amivel különleges sikert nem értek el, de mint lehetőség bekerült a szaklapokba. A starttechnika kezdetben igen kezdetleges volt, mindössze a fékekkel a kezükben, az ejtőernyőt az alsó vitorlára fektetve várták a megfelelő szelet, majd futással gyorsítottak, amíg el nem emelte az ejtőernyő a pilótát. Az 1980-as évek elején kezdett elterjedni a maihoz hasonló starttechnika, amelynél a fékek mellett a belépőélhez kapcsolódó zsinórokat is fogták start közben. Ezzel a belépőélen lévő beömlőnyílásokat jobban a megfúvás irányába tudják fordítani, elősegítve a kupola gyorsabb feltöltődését. Ezután pedig a belépőél húzásával kisebb állásszöget adva a szárnynak, gyorsítani lehet azt.

**2. ábra. Első siklóernyős lesiklások, 1978-ból**



1982-től a szaklapokban előfordult, hogy címlapon adtak hírt az egyre másra születő rekordokról, a Mount Blanc csúcsról először például Roger Fillion [6] repült le. Franciaországban több repülőiskola is nyílt, az egyre nagyobb érdeklődés miatt. A sportágnak ekkor még nem volt egységes neve, a versenyeken célraszállási feladatokat adtak meg. Az első ilyen célraszálló versenyt 1983-ban rendezték, a kényelmetlen hevederek miatt a repülések nem tartottak tovább 15 percnél. Az első

[6] G. Wei, G. (2002): *To fly with the wind.* China Pictorial cikk. [Letöltve: 2021. 11.] 22. <http://www.rmhb.com.cn/chpic/htdocs/english/200810/5-1.htm>

[7] H. Aupetit, H. (1989): *ABC of paragliding, Retine.*

[8] Die Geschichte des Gleitschirmfliegens, *GLEITSCHIRM magazin* 1996

időtartamrekordot Richard Trinquier állította fel 1985-ben, Parachute de France gyár paplanernyőjével, a saját maga varrt hevederekkel és egy vitorlázó repülőgépből kiszerezelt varióval 5 óra 20 percet töltött a levegőben lejtőrepülés és termikelés segítségével. Ezzel bebizonyosodott, hogy ez az új sportág egy új repülősport, az akkor még mindig légcellás ejtőernyőnek tekinthető eszköz pedig repülőeszköz. Ezek után tömegesen jelentkeztek a repülőiskolákba az érdeklődők, csak hosszú várakozás után lehetett megfelelő paplanernyőhöz jutni, az áruk a magasba szökött, nehezen lehetett beszerezni. Hubert Aupetit 1986-ban megírta az első siklóernyős tankönyvet, amelyben a starttechnikák és a felszerelés ismertetésén kívül kitért aerodinamikai, repülésmechanikai és repülésmeteorológiai témákra is. Ebben a könyvben a szerző a siklóernyőzést a legelérhetőbb repülősportnak nevezte [7]. Laurent de Kalbermatten az 1974-es sárkányrepülő világbajnok, UL-konstruktőr, miután kipróbálta az új repülő szerkezetet, azonnal vásárolt magának egy távoli repülőtéren a helyi ejtőernyős klubtól egy paplanernyőt [8]. Felismerte a megnyíló új piacot és éppen haldokló UL repülőgépgyártó vállalkozását az új típusú repülőeszközök gyártására alakította át. Felismerte továbbá, hogy az akkor alkalmazott paplanernyők és hevederek nem repülésre lettek tervezve, kényelmetlen a használatuk és startsegítők nélkül szinte lehetetlen a felszállás. Az első általa tervezett ernyők már a felszállási és a repülési képességeket szem előtt tartva kerültek kialakításra. Az első típusnál a paplanernyőhöz hasonlóan nem voltak nyílások a kupola celláit elválasztó bordákon, így az ernyő harmonika-szerű mozgása jelentős volt, a kupola mindössze 7 cellából állt. A következő prototípuson a bordákat már ellátta átömlő nyílásokkal, amivel elérte, hogy repülési teljesítménye minden addigi paplanernyőnél jobb volt.

Alig, hogy elkészültek az első szárnyak, Laurent megtudakolta az SHV-nál (Schweizerischen Hänggleiter-Verbandes), milyen szabályozás vonatkozik az új sporteszközre. Így hamarosan hivatalosan is besorolták az ekkor már siklóernyőnek nevezhető repülőszerkezetet a függővitorlázó kategóriába, a sárkányrepülő mellé. Így a siklóernyőnek is típusvizsgát kellett tennie, amely menetét ki kellett dolgozni. Mivel külsőre hasonlított az ejtőernyőre, az első előírások repülőből kiugorva írták elő a tesztrepüléseket, amelyek bekötött ugrások voltak, az ernyőt rögtön a kiugrás után nyitották. Az első siklóernyő prototípus így ment át a típusalkalmasságon, a sorozatgyártás beindítása után néhány hét alatt több mint 100 ernyőt adtak el. A siklóernyőzés, mint önálló sportág történelmét ettől a ponttól -1986 elejétől- számíthatjuk.

Az első siklóernyős világbajnokságot 1989-ben rendezték meg Ausztriában. Ugyanebben az évben Hans Jörg Bachmair felállította a Légisport Világszövetség (FAI) által jegyzett 69,15 km-es első egyenes táv világcsúcst. Még az év végére két másik pilóta törte fel, majd 1990 decemberére közel 150 km-re ugrott.

A siklóernyőzés Magyarországon az 1987-es évben kezdődött, amikor Végh István, Saleva típusú ernyővel [9] lesiklást hajtott végre az Újlaki hegyről. Az 1990-es évek előtt az ejtőernyőzés központja Magyarországon a gödöllői repülőtér volt, ahol szintén komoly próbálkozások történtek paplanernyővel történő lesiklásokra, illetve autóval történő, fix köteles felvontatásra. Egy év alatt több mint 300 startot végeztek, mindenféle ejtőernyőt kipróbálva. 1989-ben siklottak először a galyatetői sípályáról, Cloud típusú ernyővel, majd hamarosan meghódították Fótot, Dobogókőt, Csóvárt, a kékestetői sípályát is. 1990-ben repültek először a Kétágú hegyről, majd Kesztlőcön, a BHG RepülőKlubban (később RAIR Aero Club) 1993-ban jutottak hozzá az első igazi siklóernyőkhöz, egy Nova CXC-hez, melyet Pécssett varrtak. A Nova ausztriai siklóernyő gyártó cég 1989-es alakulását követően 1991-ben alapította meg Magyarországon, Pécssett, az első gyártóüzemét. Végül aztán Óbudát is meghódították, az első startot ott Dr. Bocsák Béla hajtotta végre 1990-ben. Az ő, Genair 310 típusú siklóernyőjét Nagy Zoltán, az akkori Műgyetemi és Mezőgazdasági Repülő Klub (ma MSE) megbízásából lemásolta, amiből megszületett egy, már teljesen használható jó repülőtulajdonságokkal rendelkező siklóernyő. Ezt az ernyőt később plusz 2–2 cellával megnövelte, a zsinórzatot átalakította négysorosrá, így egy kellemesen repülhető ernyőt kapott. Ezt ma a Közlekedési Múzeumban meg lehet tekinteni. Az első távrepülést egy ilyen siklóernyővel, a Hármas Határhegyről végezte Tiboldi András, aki egészen a Farkas hegyig repült vele, majd nemsokára az első 3 óra feletti időtartamot is megrepülte. Szabó Péter a Kétágú hegyen 4 óra 30 perccel újabb Magyar rekordot állított fel. 1995-ben megalakult a Gödöllői Siklóernyős Klub, beindult a külföldi gyárak termékeinek forgalmazása. Simonics Péter az Edel, majd később a Nova osztrák cégek siklóernyőit, Pálfi Béla Gábor az UP cég termékeit forgalmazta ezekben az időkben. 1999-ben alakult meg Budapesten az ASE (Amatőr Siklóernyős Egyesület) Kerekes László vezetésével, aki összefogta az országban található kisebb siklóernyő klubokat, így az ASE egyfajta klubok feletti szervezetté kezdett válni. Tulajdonképpen ő a már működő siklóernyőzést, mint a legfiatalabb repülősportot a hazai jogszabályi keretek közé integrálta az oktatási tematika kialakításával, a munkában Szabó Péter is részt vett.

[9] Nagy Z.: *Siklóernyős hőskor*, 2012, internetes forrás, letöltve: 2021. 11. 02 <http://www.lhhh.hu/magunkrol/tortenelem/103-sikloernyos-hoskor>

10] Online siklóernyős adatbázis. (<http://www.para2000.org/>)

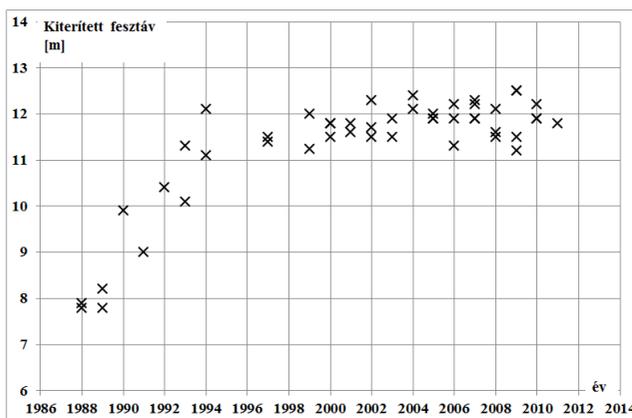
[11] Airsports Net: paragliding database, internetes adatbázis: <http://www.usairnet.com/Paragliding/>

## Technikai fejlődés bemutatása

A siklóernyők technikai fejlődését az 1986-os évtől kezdődve érdemes vizsgálni, hiszen a siklóernyőzés ettől az évtől vált önálló repülési sporttá. A kezdeti kialakítások nagymértékben hasonlítottak a paplanernyőkhöz, a pilóták sokáig ugyan azzal a hevederzettel repültek.

A kupolaépítésben áttöréseket hozó fejlesztések és újítások révén napjainkra elérhetővé vált a sárkányrepülőkhöz hasonló repülési teljesítmény. Ezen fejlesztések fő irányai többek között a kupola alakstabilitásának növelése és a közegellenállás csökkentése. A 3-as ábra mutatja a siklóernyők szárnyfesztávolságának növekedését az 1988-as évektől napjainkig.

3. ábra. Siklóernyők szárny fesztávolságának alakulása 1986-tól



A fejlődéstörténet kapcsán közölt adatok kedvtelési célú siklóernyőkre vonatkoznak, 80 kg-os pilótatömeggel. A versenyernyők teljesítménye a közölt adatoknál jobb, a vizsgált kedvtelési célú siklóernyők DHV 1, DHV 1-2 vagy AFNOR Standard, illetve LTF-1, LTF 1-2, EN-A, vagy EN-B minősítésűek. Az irodalomkutatás során összegyűjtött és ebben a fejezetben felhasznált adatok az 1-es számú mellékletben táblázatos formában is megtalálhatók. Az adatok internetes adatbázisokból származnak [10, 11].

A kupolaépítésben megjelenő újítások, mint például a félmerev bordák a belépőélen, vagy a diagonális cellák alkalmazása, lehetővé tették a szárnyfeszítáv növelését, így a szárny aerodinamikájának javítását. Ahogy látható a diagramon, 1998-as évre a szárnyfeszítáv növekedése megállt és több mint 10 évig nem növelték a gyártók jelentősen. Ez nem jelenti azt, hogy a szárnyak teljesítménye, vagy a kupola merevsége ne növekedett volna ebben az időszakban. A hangsúly átkerült a légellenállás csökkentésére, amit a zsinórzat teljes hosszának csökkentésével sikerült is elérni. A 2.3 ábrán látható áttekintésből látszik, hogy a 2000-es évektől a kupolaépítés fejlődésével egyre kevesebb zsinór elegendő az alakstabilitás biztosításához, így viszont a zsinórzat egyes részeinek terhelése megnőtt, vizsgálatuk pedig fontosabbá vált.

A zsinórok összhosszának csökkentése (4. ábra) természetesen csökkentette a parazita ellenállást, ezzel javítva a siklási tulajdonságokat. Sajnos a legtöbb vizsgált siklóernyőhöz a források nem közöltek teljes zsinórhossz adatot, így az összehasonlítás nem fedi le a sportág teljes történelmét.

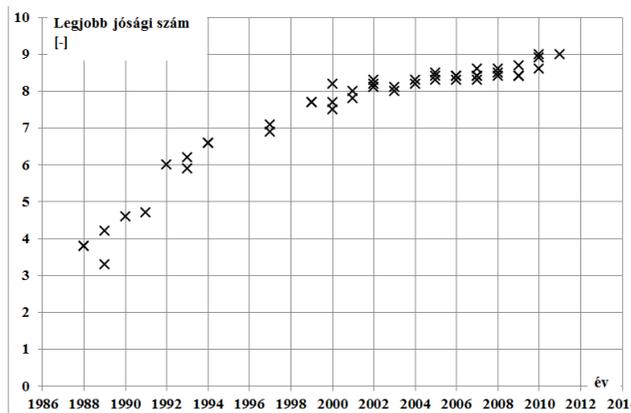
4. ábra. Siklóernyők teljes zsinórhosszának alakulása 1986-tól



A siklási tulajdonságok összehasonlítására a gyártók által megadott jósági szám maximumokat vizsgáltam és ábrázoltam. A siklópolárisból meghatároztam a maximális siklózszám-reciprokokat és ábrázoltam a 5. ábrán. Látható, hogy a fejlesztések nyomán ez folyamatosan növekszik még napjainkban is. A növekedés üteme ugyan csökkenő tendenciát mutat, de monoton növekvő jellegű függvénykapcsolatot ad.

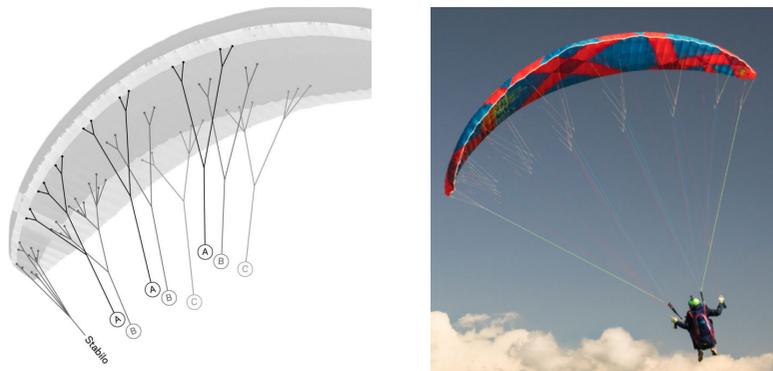
[12] Internetes forrás:  
NOVA BION 36 List  
of Materials. [Le-  
töltve: 2021. 11. 10.]  
[http://www.aerotact.co.jp/paraglider/nova/bion/images/bion\\_fabric.pdf](http://www.aerotact.co.jp/paraglider/nova/bion/images/bion_fabric.pdf)

5. ábra. Siklóernyők siklószámának alakulása 1986-tól



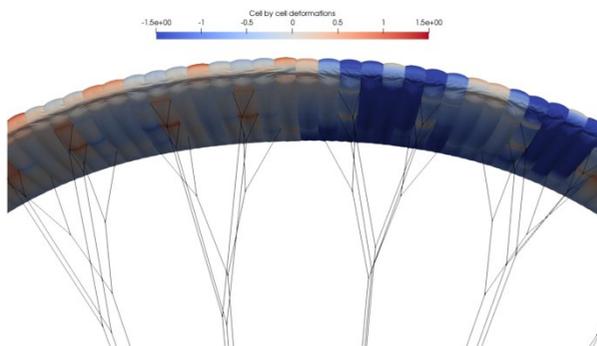
felvázolt fejlődési trendek alapján kijelenthető, hogy a siklóernyő, mint a szabad repülés egyik repülőeszköze a folyamatos mérnöki fejlesztéseknek köszönhetően dinamikus fejlődik, a gyártáshoz felhasznált anyagok és a fejlesztési eljárások a repülés más ágazataihoz hasonlóan csúcstechnológiát képviselnek. A zsinórok például hi-tech HPPE anyagból készülnek és több mint 2,5 GPa szakítószilárdságúak, mindössze 0,97 kg/m<sup>3</sup> sűrűség mellett. Ez azt eredményezi, hogy a kupolához kapcsolódó zsinórok (galéria zsinórok) 1 mm átmérőjűek (a köré font védőszövetrel együtt) és 85 kg-os terhelésre méretezettek, míg a pilótánál lévő lentebbi zsinórok 2 mm külső átmérő mellett 340 kg teherbírásúak [12]. A korszerű siklóernyőkön a zsinórokat sorokba rendezik, (6-os ábra), amelyeket a belépőéltől kezdve az ABC betűivel jelölnek.

6. ábra. Egy korszerű siklóernyő zsinórelrendezése [13]



Összefoglalásként elmondható, hogy az eddig alkalmazott „hagyományos” fejlesztési modellek segítségével történő fejlesztések kezdik elérni a korlátjaikat, a siklóernyők repülési tulajdonságai egyre csökkenő ütemben javulnak. A repülési tulajdonságok további javításához tudományos mérési és kiértékelési módszerek, szimulációk és azok alkalmazásai szükségesek [1]. A legtöbb siklóernyő gyártó alkalmaz numerikus szoftvereket a korszerű siklóernyők tervezésekor, egy példa a 7-es ábrán látható.

7. ábra. Siklóernyő numerikus vizsgálati eredménye – relatív elmozdulások [14]



[1] Nagy András (2014): *Kisméretű légi eszközök mozgásfolyamatát meghatározó mérési és szimulációs környezet fejlesztése*. PhD disszertáció.

[13] *Montenegrói siklóernyős klub honlapja*: <https://paragliding.me/us/>. [Letöltve: 2021. 12. 02.]

[14] Lories, T.–Gourdain, N.–Charlotte, M. et al. (2019): Numerical Methods for Efficient Fluid–Structure Interaction Simulations of Paragliders. *Aerotec. Missili Spaz.* (98.), Pp. 221–229. <https://doi.org/10.1007/s42496-019-00017-2>

*Köszönetnyilvánítás:*

Jelen cikkben megjelenített eredményekhez az EFOP-3.6.1-16-2016-00003 K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen c. projekt által finanszírozott kutatások járultak hozzá. A közlemény megjelenését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap 2020-4.1.1-TKP2020 Tématerületi Kiválóság Programja finanszírozta. A projektet az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozza.



## *Understanding aviation operators’ variability in advanced systems*

### **Abstract:**

#### *Purpose*

Research has commonly addressed human factors and advanced systems in broad categories according to a group’s function (e.g., pilots, air traffic controllers, engineers). Accordingly, pilots and air traffic controllers have been treated as homogeneous groups with a set of characteristics. Currently, critical themes of human performance in light of systems’ developments focus the emphasis on quality training for improved situational awareness (SA), decision making, and cognitive load. We posit that to this end a greater understanding of the operators’ groups is required.

#### *Design/methodology/approach*

Since key solutions center on the increased understanding and preparedness of operators through quality training, we deploy an iterative mixed methodology to reveal generational changes of pilots and air traffic controllers. 46 participants were included in the qualitative instrument and 70 in the quantitative one. Preceding their triangulation, the qualitative data were analysed using NVivo and the quantitative analysis was aided through descriptive statistics.

#### *Findings*

The results show that there is a generational gap between old and new generations of operators. Although positive views on advanced systems are being expressed, concerns about cognitive capabilities in the new systems, training and skills gaps, workload and role implications are presented.

#### *Practical implications*

The practical implications of this study extend to different profiles of operators that collaborate either directly or indirectly and that are critical to aviation safety. Specific implications are targeted on automation complacency,

\* Amsterdam University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Aviation Academy  
E-mail: m.papanikou@hva.nl

\*\* A2Budapest University of Technology and Economics, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles  
E-mail: ukale@vrht.bme.hu

\*\*\* University of Dunaújváros, Department of Mechanical Engineering  
E-mail: nagy.andras@uniduna.hu

\*\*\*\* Amsterdam University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Aviation Academy  
E-mail: k.stamoulis@hva.nl

bias and managing information load, and training aspects where quality training can be aided by better understanding the occupational transitions under advanced systems.

### *Originality*

In this paper we aimed to understand the changing nature of the operators' profession within the advanced technological context, and the perceptions and performance-shaping factors of pilots and air traffic controllers in order to define the generational changes.

**Keywords:** Pilots; air traffic controllers; typologies; advanced systems; quality training.

## Introduction

During the last decades technological advancements in systems and high use of automation in industries including aviation have characterised the fourth industrial revolution. Despite the positive implications of these advancements in operations and in safety, unintended consequences developed as the role of technology grew. For example, due to the automation changes, concerns were placed on information processing aspects and the functions of the pilots, the computer, and their interface (Parasuraman et al., 2000). In this changing context, quality training in aviation is considered as one of the building blocks for the effective addressing of contemporary issues that affect human performance, and commonly center on situational awareness, decision making and communication, as well as developing skills. For example, developments since the early conceptualisation of airmanship, now emphasise on the reverse of a pilot's profile from "aviate-navigate-communicate (-manage)" to "manage-communicate-(navigate-aviate)" (Mohrman–Stoop, 2019). Similarly, air traffic controllers (ATCOs) are in transition, whilst they are working simultaneously with old and new systems (Miller et al., 2020). In order to develop appropriate training programmes, the current paper posits that, as the operators' work environment changes, it is seminal to understand the generational changes in their occupations, with the insight of their current perceptions, and the experience that is being built.

Previous research in understanding variability of pilot performance, centered on distinguishing civil from military pilots, and, in civil aviation pilots, it was mainly focused on selection (Damos, 2003), personality profiling (Hörmann–Maschke, 1996) and risk attitudes in order to prevent errors (Makarowski et al., 2016). Personality profiling has also been attempted by distinguishing pilots from other groups outside aviation (e.g., Glicksohn–Naor–Ziv 2016). Other studies aimed to consider institutional factors (e.g., business-government interactions) to categorise pilots in terms of their attitudes to their work (Stensdal 2019). Similarly, ATCO performance has been studied though understanding training success variability by investigating selection procedures (Peneca et al., 2013). Other studies aimed to find differences between ATCOs and maritime navigators (Makara-Studzinska et al., 2020). Within the ATCOs group, there

have been no studies besides the team level performance inquiries (e.g., Mathieu et al., 2009). The role of experience, and the nature of that experience, in operators' performance has received less attention, and in advanced systems it is rather assumed according to hours of experience and age. A few studies, albeit in General Aviation (GA), report insights on experience and performance. For example, it is found that more experienced pilots are less prone to error-induced accidents (Bazargan–Guzhva 2011).

Less studies have, however, investigated and contextualised the role of experience. Specifically, Taylor et al., (2007), engage in the role of age and accumulated expert knowledge and find that older pilots may show lower performance but over time their performance declines less than that of younger pilots due to expertise compensating on the ageing-induced cognitive degradation. Experience in the latter study was accounted as a result of advanced training and extensive engagement in tasks. Similarly, in a group of young (20-25 y/o) pilots, Galand–Golebiewska et al., (2020) find that acquired skills and training were critical in managing the impact of cognitive load, and that greater experience and knowledge of the aircraft lowered their load. However, in another experimental study, more experienced, older pilots showed degradation in their cognitive skills despite their experienced background over the decades (Papanikou et al., 2020). Intra-group research (i.e., within civil aviation operators) has hence generalized amongst hours of experience and ranks in order to address experience levels and performance issues under a physiological and/or a psychological perspective. To this end, a number of tools have been broadly utilised to measure factors affecting operator performance and emphasise on specific training needs. However, quality of training has not been considered before, meaning whether the operators' profiles are understood. The current paper aims to address this gap through exploring possible generational typologies within the change environment of the operators' profession in order to aid the development of quality training.

## Operators in advanced systems

Advanced systems in aviation encompass the notion of technological developments in aviation systems such as cockpit/avionics and air traffic control. The increase of such developments is observed since the aviation industry grew post-deregulation, focusing on the increase of cockpit automation to reduce accidents. Under the view that risk and safety are controlled processes, advanced systems were introduced as risk barriers, amongst other reasons, to human error. However, Woods (2010) indicates that the developments in technology hide the complexity of machines, making it appear as simple and results in overconfidence of the operator. Following changes in the cockpit, research (Young et al., 2006) found that the emphasis on automation has a negative effect on the manual flying skills of pilots, while those with greater flying experience were less affected. Pilot experience is highlighted as key for managing automation issues (Wise et al., 2009), however it has not been understood as the pilots' profession has been under change

following the introduction of new business models, new training principles, and as automation grew. In addition, little is known about ATCOs, yet the changes in their work systems are fast. Specifically, automation level transitions in air traffic control were addressed in a European project, where the changes in the ATCOs tasks was highlighted (Deep Blue, 2018). In ATCOs skill-based errors are documented as the most prevalent factors in incidents and accidents (Pape, Wiegmann–Shappell 2001). According to Reason (1990) such errors describe a skilled user that performs tasks with little effort and has little conscious attention on the tasks.

Hence, the argument for increased advanced systems, and less need for training, is offset by the fact that new technologies do not require less but more knowledge, as well as more use of operator judgement (Geiselman, 2013, Wise et al., 2009, Woods, 2010). Another study on ATCOs also reports that training, physical fatigue and mental state, monitoring, and the systems themselves, have an effect on their performance (Lyu et al., 2019). Furthermore, advances in air traffic control, has shown that the transition between old and new systems has an impact to stress, vigilance, attention and workload of ATCOs (Deep Blue, 2018). Therefore, the technological changes are affecting operator aspects such as workload, skills and experience. However, there is lack of understanding of operator changes within their occupational group, and their potential typologies to aid the appropriateness and design of training programmes. In this context, international aviation organisations (cf. ICAO, IATA) note their concern about the lack of data from the modified aviation system. Furthermore, the criticality of boredom, albeit not a new concern, and the trust issues of pilots and ATCOs in the new systems, as well as older challenges of automation bias and automation complacency are re-emerging. All the above discussed aspects create a challenging, contemporary profile of operators, with critical distinctions from the earlier generation of airmen and controllers, which are however underexplored. Training programmes are then developed generically, without considerations of changes and the operators' generational gaps. In order to explore this problematic gap, we present a mixed methodology that aimed to greater understand the different generations of operators.

## Methods

In order to explore the operators' perceived changes, the study deployed a mixed methods framework of inquiry. Initially, the study deployed civil aviation pilots in two qualitative methods. Using these experts in nominal groups and in semi-structured interviews, the current study helps understand 'work as done'. The current study employed the nominal group technique (NGT), a structured group process used to increase participation and gain consensus on a topic (Van de Ven–Delbecq, 1972). The study included two nominal groups of 23 pilots. Following this, the study deployed 23 civil pilots in semi-structured interviews about their profession, such as training and their role. The sampling strategy was a mixed purposeful one (maxi-

mum variance and stratified cases), so that different backgrounds, ranks and experiences were represented in the sample. The data were analysed using the qualitative software NVivo by creating nodes and sub-nodes from the raw data. Following the analysis of the qualitative data, as an iterative research process, the study then deployed a survey comprising of general demographical questions, five-point Likert-scale questions and two open-ended questions. The Likert scale questions were developed by following the emergent qualitative themes of the operators' role, training, views on automation and advanced systems, their workload shifts, confidence in systems and differences in terms of skills and knowledge. The questions used generic terms and not specific systems as this span across aviation functions, and due to the transition whilst working with old and new systems. The open-ended questions asked participants to report three aspects that are affecting their work, and positive and negative effects of advanced systems on their performance and were analysed through thematic analysis. The convenience sample included 70 operators from various countries, including an even balance between pilots and air traffic controllers. In the following section we initially present the survey findings before we triangulate the Likert-scale data with the qualitative data.

## Results

From the 70 administered questionnaires, 69 were completed. The respondents were mainly male, from a variety of nationalities, and their average age was 35 years old. Most pilots were fairly experienced with flying hours spanning between 1000-5000 and between 100-500, or less than 50, whereas a smaller percentage was of pilots with flying experience over 5000 hours. The ATCOs had 15 years of experience in average. The results showcase mixed views on a variety of issues but also consent amongst operators in the cockpit and in air traffic control. Table 1 shows the overall scores for each of the questions of the survey that included questions on perceived role and value of the operators' work, their view on advanced systems, and of those on their knowledge, skills, and training. Most respondents agree that their experience is enough for the operation of current systems, their job is being valued, and that they have gained more knowledge and that their skills improved in the new environment, posing a distinction from past contexts. In addition, most respondents view that they have control over their work outcomes and that their training is appropriate and enough. Most respondents hence appear positive in the technological advancements in their function and work field, as their workload decreased, and the job became easier, and they are fascinated by advanced systems. However, startle events are experienced, and most respondents believe that their role is in transition to more passive monitoring of systems. In contrast to previous responses about their skills, the respondents don't feel they can fully rely on advanced systems to operate as intended and prefer to use a manual control that allows for inputs. Accordingly, most respondents report that there is a generational

gap in terms of manual skills of operators. Lastly, despite the decrease in workload, the information load from a variety of sources creates confusion to most of the respondents. Below we present the results from open ended questions, nominal groups and interviews.

#### PILOTS AND AIR TRAFFIC CONTROLLERS' PERCEPTIONS ON ADVANCED SYSTEMS

The results comprise of three categories of views on advanced systems. The positive views revealed advantages in an operational and procedural manner. Specifically, the benefits focused on error prevention and early identification of failures, access to data and accuracy, standardization, quality of service, cost and time efficiency, and what was characterised as a “hassle free” way of working. The operators work becomes faster and easier, including time of traffic planning and conflict resolution. These benefits are perceived as having a decreasing effect on their workload, stress, and an increase of their mental capacity to address “more important tasks”. As seen in Table 2, positive views include that technology is decreasing mechanical failures dramatically and mishandling of avionics. However, the participants viewed that, at the other side of the same coin, this environment is affecting pilots' skills and is making air traffic controllers “lazy” and “relaxed” and when needed their alertness levels are affected. Such negative views reflect the deeper issues such as interactions with the systems. Respondents indicate problems where there is contradictory information, malfunctions and the unpredictability of the systems' behaviour, lack of comprehensive procedures, too much complexity, and unharmonized information. The negative views on technology were supported by the effect on awareness, distractions, confusion, a tunnel vision of scenarios, decreased communication and an increase of workload, stress and mental load when there are failures. Respondents noted there is a lot of reliance on automation and an increase in events such as runway excursions.

Table 1. Descriptive statistics: responses of operator

	Strongly agree	Agree	Neutral	Disagree	Strongly disagree
I believe I have enough experience in order to use advanced systems in my work field.	31,90%	55,10%	11,60%	1,40%	0,00%
I believe that due to technological advancements I have more knowledge over my function.	18,80%	55,10%	21,70%	4,30%	0,00%
During my work, I experience events that surprise me.	14,50%	53,60%	17,40%	13,00%	1,40%
I believe I have control over the outcomes of my work.	23,20%	65,20%	10,10%	0,00%	1,40%
I believe that my skills have improved due to technology.	24,60%	43,50%	20,30%	10,10%	1,40%
I believe that my role as an operator is in a transition from active controlling to passive monitoring.	18,80%	26,10%	23,20%	27,50%	4,30%
I feel I can fully rely on the automation in the aircraft/ATM tower to operate as intended.	5,80%	23,20%	24,60%	40,60%	5,80%
I prefer to use a manual control system than relying on automation that requires minimal operator input.	14,50%	27,50%	29,00%	27,50%	1,40%
I believe that the new generation operator's hands-on flying/controlling skills are lacking in comparison to the old generation ones.	20,30%	36,20%	21,70%	20,30%	1,40%
I believe I have appropriate training for the advanced technologies in my field.	13,00%	55,10%	17,40%	10,10%	4,30%
I believe I have enough training to keep up with the advancements in my field.	11,60%	50,70%	17,40%	17,40%	2,90%
I find the technological advancements in my field positive.	23,20%	60,90%	15,90%	0,00%	0,00%
I believe that the technological advancements make my job easier.	20,30%	60,90%	13,00%	5,80%	0,00%
I believe that due to technological advancements my workload has decreased.	20,30%	49,30%	18,80%	10,10%	1,40%
I believe that my workload is decreased by increasing the level of automation, but I receive more information from many sources in the current system which occasionally confuses me.	17,40%	37,70%	30,40%	13,00%	1,40%
I feel that my job is valued.	29,00%	44,90%	13,00%	13,00%	0,00%
I believe that my role has changed over time in a positive manner.	8,70%	36,20%	40,60%	14,50%	0,00%
I am confident that I am able to react fast when things go wrong.	27,50%	65,20%	7,20%	0,00%	0,00%
Advanced systems in my work fascinate me.	29,00%	56,50%	13,00%	1,40%	0,00%

*Table 2. Perceptions of operators on the role of advanced systems.*

Sub nodes	Data/indicative quotes
Positive	For example, the failure of equipment is less and less important in the way accident chains develop. And the human element of it is taking a large part.
	I can do more operations the same time, conflict predictions can help provide safety, so you can handle more traffic the same time. [It is] time saving, hassle free.
Negative	This results in distraction, increased workload, and a big loss in flexibility. Unless one is very ,on to it' [...] it's actually very easy to end up making a mistake without realizing it. When there is a failure or worse, a partial failure, the workload becomes much higher than it used to be with more basic systems.
	Making the operator lazy and not self-independent. – Even if it's an automatic system, you still need to monitor the process effectively which I can't guarantee all the time.
Mixed	By exactly the same token {automation}, workload increased, and automation can significantly increase confusion.
	Automation saves from small mistakes – daily incidents – but it leads to big accidents. For example, the Air France crash is one of the biggest mistakes that automation causes.

Lastly, mixed views of “technology being good if it helps you” is noted by most operators. In detail, pilots noted that the increased reliance on automation “solved old problems and created new ones” and that technology “appears to be lowering the workload but increases confusion” and it depends on “the normal operations and the abnormal operations division”. For example, the operators’ role and skills are affected by highly advanced systems, which are presented in the next subsection. However, automation is noted as a medium that “saved {us} from small mistakes and daily incidents”, yet the outcomes are conditioned by the operators “manual background, knowledge and experience levels”. In addition, respondents note that there may be “faster decision making”, but that “this may lead to overconfidence”, and that “there is no such thing” as “stall-proof airplanes”, meaning that pilots can lose sense of the aircraft’s condition and cannot recover from a case of low air speed due to confusion. In that sense respondents noted that the view on advanced systems is “positive but sceptical”.

PERFORMANCE IN ADVANCED SYSTEMS

A positive feedback loop is observed between the operators and the advanced systems, meaning that the changes in systems increase the changes in operators in the way these are already changing (e.g., manual skills deteriorate, advanced system skills improve). Training was linked to lowering costs and to being convenient to operations, compliance to minimums, and learning gaps. Specifically, training is characterised as “of poor quality and incomplete” and “shorter than before”, having the “wrong focus” and being “inadequate for advanced systems”, and rather “a convenient, blunt tool”. For this reason, respondents noted the tendency to do the minimum training needed in order to be legally compliant. Pilots are “trained to legal base minimums”, and this approach to training indicates the lower investments in people, since “the organisation itself invests very little in training”. Legal minimums hence dictate the training needed without investing in more training that respondents found “not enough”.

*Table 3. Advanced systems and performance concerns.*

Sub nodes	Data/indicative quotes
Training gaps	I haven't seen anything new over the last years in terms of training. It (the material) is usually a copy and paste from others.
	some seminars like 'Dangerous Goods' {...} there is too much emphasis here without placing the emphasis on flying.
Skills gap	Pilots today are Airbus kids. I am afraid they don't know what to do if something goes wrong.
	There is a paradoxical system – safety through increased technology and automation washing out the skills, which are needed for safety.
Cognitive capabilities	Their perception of raw data is when the computers are still telling me where to fly and what to fly and what altitude to set and I leave the auto-throttle connected.
	The pilots are startled by it because it is an anomaly. And they tend to over-react on the problem and make things even worse {...} you get too comfortable.
Workload	Automation should reduce workload but actually by exactly the same token, workload increased.
	ATC often give aircraft shortcuts on a standard arrival. This creates unnecessary high workloads in the cockpit. I have found this to be unsafe at times and not every crew member is able to handle it well.
Role of operators	Sometimes, automation makes me less sensitive about the movement of air traffic through radar screen.
	You are the bus driver, but if something goes wrong you are a pilot.

As shown in *Table 3*, respondents characterised their changing roles for pilots as “Airbus kids” and “bus drivers”, and for air traffic controllers as “lazy and dependent on systems”, “less sensitive about air traffic movements” and the environment creating overall in operators a “overconfidence in the system”, adding that there is a “generational gap creating two tempos” in the use of advanced systems. Their “changing role” was hence reported with “low morale”, and as “passive workers” due to the “lack of value” in their work. The role of operators is characterised as “decreasing”, and that there is “lack of responsibility amongst colleagues”. The role of operators changed to monitoring the systems, and that pilots are simultaneously required “to protect the system from failure”, and air traffic controllers find it difficult to “use their brains” following “too much reliance on systems”. This was characterised as a “paradigm shift”, where there is a need to “make operators that save the system”. Specifically, pilots are noted as “being in the business of managing the autopilot system {...} reluctant to practice manual flying”, becoming “rustier and rustier”, and they “end up in a circle”, having “no experience in manual flying”, as these were “not allowed to be practiced”. Furthermore, it is reported that more “confirmation bias” is being developed and that “too many rules and procedures ultimately kill common sense and airmanship”, and “loss of analytical thinking”. “Old school skills” as the previous generations of operators were characterised, involved “human skills” that are now “lost”, leading to a “loss of confidence”.

This changing role of operators paired with a “degradation of basic skills”, creates different types of workload. Specifically, workload was found to be different instead of being decreasing, and to be conditioned by other factors. For example, as respondents noted “workload has shifted”, “it is much higher during failures”, and “simple monitoring skills are not effective”. For this reason, respondents noted that focus is needed “on specifically what workload it is reduced or minimised”. There is hence “workload fluctuation”, where load depends on the level of air traffic and flight hours, erratic roster patterns, and extra hours for training, with an emphasis on “more efficient processes”. In addition, the respondents reported that advanced systems affect their cognitive capabilities. Specifically, respondents noted that operators “get too comfortable” with automation, their “mental abilities are degraded”. For example, one respondent explained that “what you do is you monitor the speed on the approach because the assumption in your brain is that this has always been handled by the auto throttle”. The operators find that the increased reliance on systems affects their “situational awareness loop”, and that in several cases there is more “head down time” and “serial thinking”. Hence when something goes wrong operators stress increase, they are confused and “overreact on the problem”, as they “don’t know exactly what is hiding behind the screens”.

## Discussion

The study's results show concerns of high investments on systems whilst training is lagging in light of the operators' changes. These results are in accordance with concerns of inadequate training, and training in automation, producing in the past 26 automation-related accidents<sup>1</sup> (Endsley, 2019) and the latest B737-Max8 crashes. The data paint a picture of deskilled and reskilled operator typologies. These are labelled generically in Table 4. as old generation (OldGen) and new generation (NewGen) operators to reflect their skill change, knowledge gaps, and their work mentality. These changes support suggestions and concerns of a shift in airmanship, as reported by Mohrmann and Stoop (2019). The results show that there are changes that underpin the operators' profession, in terms of their role, skills, mentality, workload, and that these changes bring forward challenges to their performance. The NewGen's observed functional mentality is also critical. Functional mentality implies the need for a reengineering of the operator's role, as the training demands raised will be much more difficult to address in the future.

*Table 4. High level typologies of operators and their characteristics.*

Higher level typologies	Characteristics
OldGen	Experience and skills- manual
	Knowledge of systems
	Old mentality- low acceptability of new systems
NewGen	Experience and skills- advanced systems
	Decreased cognitive capabilities in handling unusual circumstances
	Functional mentality- dependent on systems

s

The functional mentality observed is linked to issues of automation complacency, since the former can increase the latter and develop greater monitoring problems, and ultimately a decrease in performance (Bailey–Scerbo, 2007). Moreover, as the two generations are distinct in mentality, skills, knowledge and views of advanced systems, the findings support problems of automation bias, whether NewGen overlies in automation and OldGen under-relies on automation (Mosier et al., 1997).

For example, as studies on automation bias and complacency suggest (Parasuraman–Mazey, 2010), under periods of multi-task loads, experts and naïve users are both affected. In line with the researchers’ assumption, the respondents noted negative aspects of great reliance on technology, but also positive and mixed views emerged. The negative views were mainly associated with the OldGen operators, whilst NewGen operators portrayed a more functional culture on automation. Furthermore, the skills’, training and knowledge gaps have implications for studies researching the relationship between performance and experience, the role of advanced training, knowledge of systems and task-based experience. In addition, the researchers observe the changes in the piloting profession and lack of adequate training to support the challenging aspects of pilot tasks in advanced automation systems, i.e., knowledge decay, fatigue, failures diagnosis, and overseeing complexity (Mohrmann–Stoop, 2019) and different typologies of competencies that affect operational performance (Mohrmann et al., 2015). Lastly, since the relationship between skill and experience has not been studied in depth, the current study brings to light several concerns and challenges, not only for current operations, but for the designing of quality training the operators need in advanced systems. To this end, generational changes that add to the complexity of performance require more attention as increased automation is creating a shortage of OldGen operators, creating a negative transfer of knowledge. Current concerns centre on workload, boredom, confusion, and low situational awareness (Endsley, 2019). The typologies can aid developments and research in high- and low-performing flights crews (Mohrmann et al., 2015; Mohrmann et al., 2019). Further intra-group research is required to capture within operator variability and address targeted training and other mitigation means.

## Conclusion

Safety critical aviation operators that perplex the literature are pilots and ATCOs within new interfaces. Challenges in advanced systems and their operators focus on cognitive and load aspects, quality of training as well as fatigue factors in the performance processes. However, research has commonly addressed human factors in broad categories according to a group’s function (e.g., pilots, air traffic controllers, engineers). To address the changes in operators for more quality training depending on their transitional needs, the current study led to a high-level underpinning in the categorisation of operators, and in the way their profession, skills, and mentality has shifted over the years. The findings indicate variability in perceptions of advanced systems and their effect on the operators’ performance and acceptance of the new work setting. Changes are recorded in terms of skills, knowledge, and work attitudes of the operators. Further research should aim to develop further and validate typologies within the two overarching OldGen and NewGen types and explore the issue of a possible middle generational typology, that of operators in transition. Lastly, considering the documented acceptability issues in advanced systems, operators’ variability could support future developments such as reduced crew operations.

### *Author Contributions*

All authors listed have made a substantial, direct, and intellectual contribution to the work, and approved it for publication. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### *Conflicts of Interest*

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Bailey, N. R.–Scerbo, M. W. (2007): Automation-induced complacency for monitoring highly reliable systems: the role of task complexity, system experience, and operator trust. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8. (4.) Pp. 321–348.
- Bazargan, M.–Guzhva, V. S. (2011): Impact of gender, age and experience of pilots on general aviation accidents. *Accident Analysis–Prevention*, 43. (3.) Pp. 962–970.
- Bijker, W. E. (1993): Do not despair: there is life after constructivism. *Science, Technology,–Human Values*, 18. (1.) Pp. 113–138.
- Billings, C. E. (1991): Human-centered aircraft automation: A concept and guidelines (Vol. 103885). *National Aeronautics and Space Administration*, Ames Research Center.
- Bureau d'Enquêtes et d'Analyses 2012. Final report: On the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris. Available online at <https://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf>.
- Damos, D. L. (2003): Pilot selection systems help predict performance. *Flight Safety Digest*, 22. (2.) Pp.1–12.
- Deep Blue (2018): *Final project results report. STRESS: human performance neurometrics toolbox for highly automated systems design*. SESAR-01-2015 Automation in ATM. Available online at <https://www.sesarju.eu/node/3190>
- Dekker, S. W. (2002) Reconstructing human contributions to accidents: the new view on error and performance. *Journal of safety research*, 33. (3.) Pp. 371–385.
- Dutch Safety Board (2010): Crashed during approach, Boeing 737-800, near Amsterdam Schiphol Airport, 25 February 2009. Available online at [https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-63j-system-safety-fall-2012/related-resources/MIT16\\_63JF12\\_B737.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-63j-system-safety-fall-2012/related-resources/MIT16_63JF12_B737.pdf).
- Endsley, M. R. (2019): Human factors and aviation safety. Testimony to the United States House of Representatives hearing on Boeing 737-Max8 Crashes. Available online at <https://transportation.house.gov/imo/media/doc/Endsley%20Testimony.pdf>.
- European Aviation Safety Agency (2013): EASA automation policy: bridging design and training principles. Ailable online at <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/sms-docs-EASp-SYS5.6---Automation-Policy---28-May-2013.pdf>.
- Galant-Gołębiewska, M.–Zawada, W.–Maciejewska, M. (2020): Analysis of Pilot's Cognitive Overload Changes during the Flight. *Advances in Military Technology*, 15. (2.).
- Geiselman, E. E.–Johnson, C. M.–Buck, D. R.–Patrick, T. (2013): Flight deck automation: A call for context-aware logic to improve safety. *Ergonomics in Design*, 21. (4.) Pp. 13–18.

- Glicksohn, J.–Naor-Ziv, R. (2016): Personality profiling of pilots: traits and cognitive style. *International Journal of Personality Psychology*, 2.(1.) Pp. 7–14.
- Guba, E. G. (1981): Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquiries. *Ectj*, 29. (2.) Pp. 75–91.
- Helmreich, R. L.–Wilhelm, J. A.–Klinect, J. R.–Merritt, A.C. (2001): Culture, error and Crew Resource Management. In: E. Salas, C. A. Bowers–E. Edens, (Eds.): *Applying resource management in organisations: A guide for professionals*, Hillsdale Erlbaum.
- Hilgartner, S. (2008): The Social Dimensions of Expert Knowledge about Risk. Published originally in Spanish as “Las dimensiones sociales del conocimiento experto del riesgo,” In: Moreno Castro, Carolina, (Ed.) *Comunicar Los Riesgos* (Spain: Biblioteca Nueva, 2009).
- Hormann, H. J.–Maschke, P. (1996): On the relation between personality and job performance of airline pilots. *The International Journal of Aviation Psychology*, 6. (2.) Pp. 171–178.
- Li, W. C.–Harris, D.–Yu, C. S. (2008): Routes to failure: Analysis of 41 civil aviation accidents from the Republic of China using the human factors analysis and classification system. *Accident Analysis–Prevention*, 40. (2.) Pp. 426–434.
- Lyu, T.–Song, W.–Du, K. (2019): Human factors analysis of air traffic safety based on HFACS-BN model. *Applied Sciences*, 9. (23.) P. 5049.
- Makara-Studzińska, M.–Zafuski, M.–Jagielski, P.–Wójcik-Małek, D.–Szelepajło, M. (2021): An exploration of perceived stress, burnout syndrome, and self-efficacy in a group of Polish air traffic controllers and maritime navigators: similarities and differences. *International journal of environmental research and public health*, 18. (1.) P. 53.
- Makarowski, R.–Makarowski, P.–Smolicz, T.–Plopa, M. (2016): Risk profiling of airline pilots: Experience, temperamental traits and aggression. *Journal of Air Transport Management*, 57. Pp. 298–305.
- Mathieu, J. E.–Rapp, T. L.–Maynard, M. T.–Mangos, P. M. (2009): Interactive effects of team and task shared mental models as related to air traffic controllers’ collective efficacy and effectiveness. *Human Performance*, 23. (1.) Pp. 22–40.
- Miller, M.–Holley, S.–Mrusek, B.–Weiland, L. (2020): July. Assessing cognitive processing and human factors challenges in NextGen air traffic control tower team operations. In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Pp. 289–295. Springer, Cham.
- Mohrmann, F.–Lemmers, A.–Stoop, J. (2015): Investigating flight crew recovery capabilities regarding system failures in highly automated fourth generation aircraft. *Aviation Psychology and Applied Human Factors*, 5. (2.) P. 71.
- Mohrmann, F.–Stoop, J. (2019): Airmanship 2.0: Innovating aviation human factors forensics to necessarily proactive role. In: *International Society of Aviation Safety Investigators (ISASI)*. Annual Seminar.
- Mosier, K. L.–Skitka, L. J.–Heers, S.–Burdick, M. (1998): Automation bias: Decision making and performance in high-tech cockpits. *The International journal of aviation psychology*, 8. (1.) Pp. 47–63.
- National Transportation Safety Board 2010. Loss of Control on Approach, Colgan Air, Inc., Operating as Continental Connection Flight 3407, Bombardier DHC-8-400, N200WQ, Clarence Center, New York, February 12, 2009. NTSB/AAR-10/01, Washington DC.
- Papanikou, M. C.–Frantzidis, C. A.–Nikolaidou, A.–Plomariti, C.–Karagianni, M.–Nigdelis, V.–Karkala, A.–Nday, C.–Ntakakis, G.–Krachtis, A.–Bamidis, P. D. (2020): Neuroscientific tools in the cockpit: towards a meaningful decision support system for fatigue risk management. In: MATEC Web of Conferences (Vol. 314. P. 01003). EDP Sciences.
- Pape, A. M.–Wiegmann, D. A.–Shappell, S. A. (2001): Air traffic control (ATC) related accidents and incidents and incidents: A human factors analysis. Paper presented at the 11 th annual International Symposium on Aviation Psychology. Columbus, OH: The Ohio State University.

- Parasuraman, R.–Sheridan, T. B.–Wickens, C. D. (2000): A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30. (3.) Pp. 286–297.
- Parasuraman, R.–Manzey, D. H. (2010): Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human factors*, 52. (3.) Pp. 381–410.
- Pecena, Y.–Keye, D.–Conzelmann, K.–Grasshoff, D.–Maschke, P.–Heintz, A.–Eißfeldt, H. (2013): Predictive validity of a selection procedure for air traffic controller trainees. *Aviation Psychology and Applied Human Factors*.
- Reason, J. (1990): *Human error*. Cambridge University Press.
- Stensdal, I. (2020): Towards a typology of pilots: the Shanghai emissions-trading scheme pilot. *Journal of Chinese Governance*, 5. (3.) Pp. 345–373.
- Taylor, J. L.–Kennedy, Q.–Noda, A.–Yesavage, J. A. (2007): Pilot age and expertise predict flight simulator performance: a 3-year longitudinal study. *Neurology*, 68. (9.) Pp. 648–654.
- Van de Ven, A. H.–Delbecq, A. L. (1972): The nominal group as a research instrument for exploratory health studies. *American journal of public health*, 62. (3.) Pp. 337–342.
- Wincher, D. (2013): NASA's Aviation Safety Reporting System (ASRS): the voice of front-line employees. Humans as the last barriers. European HRO Conference, Aix En Provence.
- Wise, J. A.–Hopkin, V. D.–Garland, D. J. (Eds.) (2016): *Handbook of aviation human factors*. CRC Press.
- Woods, D. D. (2010): *Behind human error*. Ashgate Publishing, Ltd.
- Young, M. S.–Stanton, N.A.–Harris, D. (2007): Driving automation: learning from aviation about design philosophies. *International Journal of Vehicle Design*, 45. (3.) Pp. 323–338.



## „Digitális mentőöv”

### *A munkaerő-piaci szereplők készségeinek és felkészültségének fejlesztése a kikötői logisztika területén alkalmazható automatizálási technológiák használatára*

**Összefoglalás:** 2021. augusztus 31-én eredményesen zárult a Magyar Dunai Kikötők Szövetsége és az Ecotech Nonprofit Zft. konzorciumában megvalósított, GINOP-5.3.5-18-20108-00025 azonosító számú, *Digitális mentőöv* című projekt. A 18 hónapon át tartó fejlesztés célja az volt, hogy javítsa a kikötői ágazat munkáltatóinak és munkavállalóinak technológiai fejlődéshez való alkalmazkodóképességét, és ezzel kapcsolatos megoldásokat dolgozzon ki az ágazat munkaerő-piaci kihívásaira, amelyek többek között a szakképzett munkaerő hiánya, az idősödő munkavállalók utánpótlásának nehézségei, a „digitális írástudás” alacsony szintje, a munkaerő-igényes, sok papírmunkával járó munkafolyamatok és a fiatal munkavállalók bevonása. A projekt a technológiai trendek kutatásával és azok ágazatra való adaptálhatóságának elemzésével és a digitális kompetenciaszint felmérésével indult, majd ezekre alapozva átfogó kompetenciafejlesztés valósult meg a kikötők munkavállalói körében. A projektben kidolgozásra került egy KPI-rendszer is, amellyel a hazai kikötők felmérhetik saját digitális fejlettségük szintjét, amelyre fejlesztési javaslatokat is kapnak. Végül, a projekt eredményeit és tanulságait egy Ágazati HR-stratégiában összegezte a konzorcium, amely egy javaslatcsomagot tartalmaz a döntéshozók és oktatási intézmények részére a projekt során feldolgozott témában, a kikötői ágazatra vonatkozóan.

**Kulcsszavak:** Digitalizáció, technológiai fejlődés, kikötői ágazat, kompetenciafejlesztés, KPI.

**Abstract:** On August 31, 2021, the EU-funded project named “Digital rescue belt” (GINOP-5.3.5-18-20108-00025) was implemented successfully by the consortium of Hungarian Federation of Danube Ports and Ecotech Nonprofit Zft. The 18 month development was aimed at improving the adaptability of employers and employees in the port sector to technological developments

\* Magyar Dunai Kikötők  
Szövetsége  
E-mail: popeiproject@gmail.  
com

and developing solutions to the sector's labour market challenges, including the lack of a skilled workforce, the difficulty of replacing aging workers, digital literacy, labour-intensive and paper-intensive workflows, and the involvement of young workers. The project started with research of technological trends and analysis of their adaptability to the sector and the assessment of the digital competence level. Based on these analyses, a comprehensive competence development was implemented among the port employees. The project has also developed a KPI system that allows port operators to assess the level of their own digitization development, for which they will receive development proposals. Finally, the results and lessons learned from the project were summarized by the consortium in a Sectoral HR Strategy, which includes a set of proposals for decision-makers and educational institutions on the topic addressed during the project, for the port sector.

**Keywords:** Digitization, technological development, port sector, competence development, KPI.

## 1. A projekt rövid bemutatása

A kikötői logisztikában, más ágazatokhoz hasonlóan, egyre fontosabb tényező lett a megfelelő munkaerővel való ellátottság mind az itt dolgozók számát, mind a munkatársak szakmai felkészültségét, kompetenciáit tekintve. A kikötők versenyképességének megőrzése érdekében elkerülhetetlen a szakmai tudás folyamatos fejlesztése és a felkészülés az egyre újabb technológiai kihívások és lehetőségek kezelésére.

A *Digitális mentőöv* című projekt a Magyar Dunai Kikötők Szövetsége és az Ecotech Nonprofit Zrt. konzorciumában valósult meg 2020. március 1. és 2021. augusztus 31. időszakban, 18 hónap alatt.

A konzorcium célja az volt, hogy a megvalósított fejlesztésekkel hozzájáruljon a kikötői logisztikai ágazat munkáltatóinak és munkavállalóinak technológiai fejlődéshez való alkalmazkodó-képességének növeléséhez, valamint konkrét megoldásokat, javaslatokat dolgozzon ki az ágazat munkaerő-piaci kihívásaira. A szakmai feladatok tapasztalt külső szakértők és magasan képzett, a digitalizációban jártas oktatók bevonásával kerültek megvalósításra.

Az alábbiakban a megvalósult projekt-eseményeket és azok eredményeit foglaljuk össze.

## 2. Elemzések, kutatások

A projekt átfogó elemzéssel, kutatási munkával indult, amely több lépésben valósult meg.

A konzorcium külső szakértői elsőként megvizsgálták az ágazatban a munkavégzés során alkalmazható technológiai megoldások körét, összevetve a meglévő munkakörökkel, hogy ezek alapján előre jelezzék a jövőben várható munkaköröket, valamint az ezek ellátásához szükséges kompetenciákat. A felmérés és

elemzés fókuszában a *technológiai változások, nemzetközi trendek*, hasonló ágazatokban használt *adaptálható megoldások* álltak. A kutatás során elsősorban olyan technológiák keresésén volt a fókusz, amelyek az aktuális munkafolyamatokat segíteni tudják.

A munkakörök és lehetséges technológiák elemzésére és a jövőbeli munkakörök előrejelzésére alapozva, a szakértők *megoldási javaslatokat* dolgoztak ki a kiválasztott tagszervezetek számára a *munkafolyamatok átszervezésének lehetőségeire*, az egyes folyamatlemek technológiával való helyettesíthetőségére vonatkozóan, megvizsgálva a cégek közötti hasonlóságokat, bemutatva az ágazati szinten alkalmazható technológiákat és azok sajátosságait.

10 közép-magyarországi régióon kívül tevékenykedő kikötői munkáltató került bevonásra a projektbe, melyek mindegyike válaszolt egy *digitalizációs helyzetképet felmérő online kérdőív*re, majd a vezetőikkel készült egy-egy *személyes interjú*. Mindezek eredménye feldolgozásra került az elkészült tanulmányokban.

### 3. Képzési igények felmérése, átfogó kompetenciafelmérés (pilot projekt)

Az elemzések és a munkáltatók helyzetének felmérését követően vette kezdetét a kísérleti (pilot) projekt, amely az ágazatban dolgozók átfogó kompetenciafelmérésével kezdődött. A vizsgálat során 150 kérdőív került kiosztásra, amelyből 127 megkérdezett (24%-a nő, 76 %-a férfi) küldött vissza értékelhető kérdőívet.

Kiderült a felmérésből, hogy informatikai felkészültségben, internethasználati szokásokban, a digitalizációhoz kapcsolódó fogalmak és különféle informatikai megoldások ismeretét tekintve a vezetők és a beosztottak csoportja teljesen eltérő szinten mozog. Az érzelmi intelligenciánál látható eltérések is arra engednek következtetni, hogy a vezetők nyitottabbak a újításokra, könnyebben alkalmazkodnak a változásokhoz. Éppen ezért a digitális kompetenciák kialakítását célzó képzéseknél szükségszerűen el kell különíteni ezt a két csoportot és eltérő tematikával kell megkezdeni a fejlesztéseket. A kísérleti projekt során a konzorcium a munkavállalók (beosztottak) fejlesztésére helyezte az elsődleges fókuszot, ahol nagyobb elmaradás tapasztalható a digitalizáció terén.

### 4. Kikötői munkavállalók és digitális mentorok képzése (pilot projekt)

A kutatások és az átfogó kompetenciafelmérés eredményeiből építkezve, a konzorcium egy digitális kompetenciákat fejlesztő tananyag kidolgozásával és két munkavállalói képzési alkalom megszervezésével támogatja az ágazat munkáltatóit a felkészülésben, felzárkózásban.

A 25 tanórás képzés összesen 4 elméleti modulból áll, melyek az alábbiak:

- A digitális kompetenciák értelmezése.
- Az IKT-eszközök és rendszerek alkalmazása a vállalati működésben.
- IKT-rendszerek a folyami kikötői logisztika területén.
- IT-biztonság.

2 képzés valósult meg a projekt során, 2021 május és június-július hónapjában, a májusi képzés személyesen, míg a nyári képzés személyes jelenléttel zajlott. A tapasztalatokból tanulva, azokat beépítve, a második alkalom három külön nappól állt a korábbi egymás utáni három nap helyett.

A kísérleti (pilot) projekt következő lépéseként a fenti képzésből egy olyan *online tananyag* (oktatói segédanyag) került kidolgozásra, amely lehetővé teszi a vállalkozások számára a „házon belüli” *digitális kompetenciafejlesztést és szemléletformálást*, belső mentorok segítségével. A belső mentorok (digitális mentorok) felkészítése 2021. július 19-én valósult meg, online formában. A kidolgozott online tananyagot a konzorcium az ágazati munkáltatók számára elérhetővé tette.

## 5. KPI-rendszer kidolgozása és bevezetése

A digitális kompetenciafelmérésből és a nemzetközi technológiai trendekből kiindulva a konzorcium kidolgozott egy fejlesztési és disszeminációs célokat is szolgáló *KPI-rendszert (mérőeszközt)*, amely lehetővé teszi a vállalkozások számára, hogy saját magukat felmérjék és beazonosítsák digitális alkalmazkodóképességük, fejlettségük szintjét. A rendszer lényegében egy önállóan használható programozott Excelt, kiegészítve egy módszertani segédlettel, kitöltési útmutatóval, referencia-értékekkel. A KPI-rendszert ugyancsak külső szakértők bevonásával, a pilot projektben kidolgozott képzési programmal összhangban, annak témaköreit beépítve dolgozta ki a konzorcium.

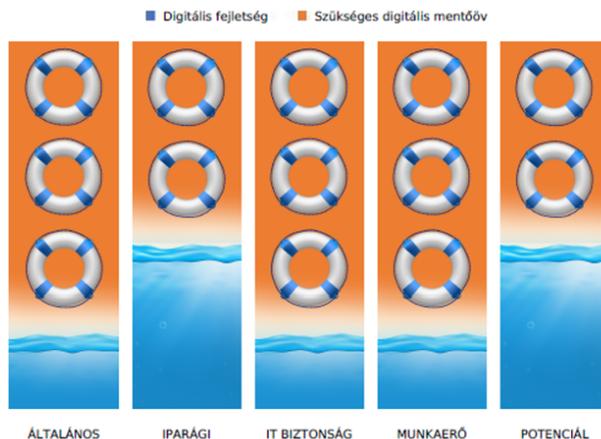
Az önállóan használható mérőeszköz *öt dimenzióban* ad reális képet a munkáltató digitális felkészültségéről:

- Általános szervezeti digitalizáció.
- Iparágspecifikus digitalizáció.
- IT-biztonság.
- Humán erőforrás digitális kompetenciái.
- Digitális potenciál.

A KPI-rendszer az eredeti Excel formájából elektronikus formát öltött, és egy programozott online kérdőív formájában érhető el a Kikötőszövetség honlapján. A kérdőívet bármely ágazati munkáltató bár-

mikor kitöltheti, és ezzel felmérheti jelenlegi felkészültségének szintjét digitalizáció szempontjából. Az eredményről egy pdf-ben letölthető összefoglaló riportot generál a rendszer, amely a grafikus ábrázoláson túl, az eredmények függvényében konkrét fejlesztési javaslatokat is tartalmaz.

1. ábra. A kikötőüzemeltető digitális fejlettségi szintjének grafikus ábrázolása



## 6. Szakmai rendezvények megvalósítása

A projekt során két szakmai rendezvényt valósított meg a konzorcium, online formában.

A 2021. június 2-án megrendezett *szakmai workshop* célja az volt, hogy a projekt keretében készülő Ágazati HR-stratégia tervezett tartalmát, főbb irányait megismerhessék a résztvevők, és lehetőséget biztosítsa a kapcsolódó észrevételek, ötletek megfogalmazására. A workshopon az ágazati munkáltatókon túl más szakmai szervezetek, képzőintézmények és a Magyar Kereskedelmi és Iparkamara is képviseltette magát, összesen 22-en vettek részt.

A 2021. június 29-én megrendezett *szemléletformáló konferencia* célja, hogy minél több érintetthez eljuttassa a projekt eredményeit, és támogassa a szemléletformálást a digitalizációs trendek irányába. A félnapos konferencia a kikötői és logisztikai ágazat digitalizációját, illetve annak munkaerő-piaci vonatkozásait érintő témaköröket ölelt fel, és a kikötői logisztikai ágazatban tevékenykedő munkáltatók, képzőintézmények, ágazati döntéshozók és egyéb érintettek részvételével (összesen 57 fő) valósult meg.

## 7. Ágazati HR-stratégia

A projekt során megvalósított kutatások, módszertani fejlesztések során kirajzolódtak olyan trendszerű problémák, amelyeket érdemes az oktatási rendszer szintjén is kommunikálni – például milyen technológiai ismeretekre, „soft skilllek”-re lesz szükség az ágazatban a jövőben. Ezek alapján, kiegészítve az oktatási intézmények bevonásával szervezett workshop eredményeivel egy ajánlás készült a magyar oktatás és a döntéshozók részére, *Ágazati HR-stratégia* formájában.

A stratégia megfogalmaz fejlesztési irányokat a feltárt képzési igények mentén a szemléletformálásra, a vezetők képzésére, valamint a szellemi és a fizikai munkavállalók továbbképzésére vonatkozóan. Ajánlásokat fogalmaz meg továbbá az ágazatot érintő szakképzési rendszerek összehangolásának, egyszerűsítésének és átjárhatóságának biztosítása érdekében.

*A stratégia rövid távú céljai:*

1. Általános szemléletformálás a kikötői munkavállalók körében, a digitalizációval kapcsolatos ellenállás csökkentése.
2. Digitális felkészültség önértékelése, fejlesztési irányok meghatározása a KPI-rendszer segítségével.
3. Belső képzések megvalósítása az ágazatban a digitális mentorok közreműködésével.
4. Javaslatcsomag benyújtása a döntéshozók felé az ágazatot érintő szakképzés rendszerének finomhangolására vonatkozóan.

*A stratégia hosszú távú céljai:*

1. A kikötő-üzemeltető képzés funkciójának bővítése, presztízsének emelése.
2. A hiányzó képzésekre más logisztikai ágazatokkal és képző intézményekkel együttműködve célzott képzési programok kidolgozása.
3. A kikötői logisztikai, hajózási ismeretek integrálása a meglévő szakképzési rendszerbe.



Az Ágazati HR-stratégia, ahogyan a projekt további eredménytermékei is, a kikötőszövetség honlapján, a projekt aloldalán elérhetők.

# *Galéria*

*Halász Iván fotói*





















