

ANYAGTUDOMÁNYI TEREK 2.

Nagy András–Németh István Péter–Czifra Sándor (Szerk.)

MIRIAMA GOLISOVÁ–SAMER AL-RABEEI–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Create an aircraft maintenance program

UTKU KALE–SAMER AL-RABEEI–BRANISLAV RÁCEK–ANDRÁS NAGY

Analysis of utilization alternative fuels in the Aviation

SAMER AL-RABEEI–BRANISLAV RÁCEK–PETER KORBA–MICHAL HOVANEC–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

The Impact of Aircraft's Chassis Maintenance on The Health of Mechanics

MARIO MAURO SALVATORE–ALESSIO GALLORO–LEONARDO MUZZI–GIOVANNI PULLANO–PÉTER ODRY–GIUSEPPE CARBONE

Design of PEIS: A Low-Cost Pipe Inspector Robot

ELIF KORUYUCU–MELIH YILDIZ–EBRU YAZGAN–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Evaluating and Comparison of the Ergonomic Conditions of Two Representative Training Aircraft Cockpit

MELIH YILDIZ–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Analyzing Well-To-Pump Emissions of Electric and Conventional Jet Fuel for Aircraft Propulsion

MELIH YILDIZ–SAVAŞ MUTLU–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Environmental and Economic Analysis of Emission Reduction Strategies for Airport Ground Operations

HELENA MANOJLOVIC

A gesztusalapú technológia helye az oktatásban

GYÖRFFY NÉ HOLLO KRISZTINA

Az érintés nélküli adatgyűjtés kockázatai és a kockázatszámítás módszerei

ZAKOTA ZOLTÁN

Az Edison programozási nyelv és szerepe a konkurens programozásban

MARIA PAPANIKOU–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY–KONSTANTINOS STAMOULIS

Macrocognition for Predaredness in aviation: An opinion paper

MARIA PAPANIKOU–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY–KONSTANTINOS STAMOULIS

Understanding aviation operators' variability in advanced systems

BARTHA MIKLÓS–ZAKOTA ZOLTÁN

A Forth programozási nyelv alkalmazási lehetőségeiről



Dunakavics
KÖNYVEK 22.

DUE PRESS

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Nagy András–Németh István Péter–Czifra Sándor (Szerk.)

ANYAGTUDOMÁNYI

TEREK 2.

© Nagy András–Németh István Péter–Czifra Sándor (Szerk.) 2021

© Agócs Mihály; Baki Roland; Bereczki Péter; Berki Borbála; Burkus Ervin; Csincsi Zsuzsanna; Domonkos Levente László; Gonda Viktor; Fehér Jánosné; Katona József; Kecskés István; Király Zoltán; Király Vencel; Kiss Endre; Kocsó Endre; Kovács-Bokor Éva; Kővári Attila; Ladányi Gábor; Molnár János; Nagy Bálint; Odry Ákos; Odry Péter; Páger Béla; Pámer Ádám; Pázmán Judit; Sudár Anna; Szabó Attila; Szabó Péter; Szabó Szebasztián; Szikszai Kristóf; Tadity Vladimir; Ujbányi Tibor; Wizner Krisztián 2021

A kötet megjelenését a EFOP-3.6.1-16-2016-00003 K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen projekt támogatta.

Funding This research was funded by the EFOP-3.6.1-16-2016-00003 project which is co-financed by the European Union.

Acknowledgements The current researches would like to thank the EFOP-3.6.1-16-2016-00003 project and the European Union for financing this study.

DUNAÚJVÁROSI EGYETEM
www.uniduna.hu

D=U=E PRESS

Kiadóvezető Németh István

Felelős kiadó Dr. habil András István
Felelős szerkesztő Nemeskéry Artúr

Tördelés Duma Attila
Készült a HTSART nyomdában
Felelős vezető Halász Iván

ISBN 978-615-6142-17-7

ANYAGTUDOMÁNYI TEREK 2.

Nagy András–Nemeth István Péter–Czifra Sándor (Szerk.)

MIRIAMA GOLISOVÁ–SAMER AL-RABEEI–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Create an aircraft maintenance program

UTKU KALE–SAMER AL-RABEEI–BRANISLAV RÁČEK–ANDRÁS NAGY

Analysis of utilization alternative fuels in the Aviation

SAMER AL-RABEEI–BRANISLAV RÁČEK–PÉTER KORBA–MICHAL HOVÁNEC–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

The Impact of Aircraft's Chassis Maintenance on The Health of Mechanics

MARIO MAURO SALVATORE–ALESSIO GALLORO–LEONARDO MUZZI–GIOVANNI PULLANO–PÉTER ODRY–GIUSEPPE CARBONE

Design of PEIS: A Low-Cost Pipe Inspector Robot

ELIF KORUYUCU–MELIH YILDIZ–EBRU YAZGAN–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Evaluating and Comparison of the Ergonomic Conditions of Two Representative Training Aircraft Cockpit

MELIH YILDIZ–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Analyzing Well-To-Pump Emissions of Electric and Conventional Jet Fuel for Aircraft Propulsion

MELIH YILDIZ–SAVÁS MUTLU–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY

Environmental and Economic Analysis of Emission Reduction Strategies for Airport Ground Operations

HELENA MANOJLOVIC

A gesztusalapú technológia helye az oktatásban

GYÖRFFY NÉ HOLLÓ KRISZTINA

Az érintés nélküli adatgyűjtés kockázata és a kockázatszámítás módszerei

ZAKOTA ZOLTÁN

Az Edison programozási nyelv és szerepe a konkurens programozásban

MARIA PAPANIKOU–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY–KONSTANTINOS STAMOULIS

Macro-cognition for Predaredness in aviation: An opinion paper

MARIA PAPANIKOU–UTKU KALE–ANDRÁS NAGY–KONSTANTINOS STAMOULIS

Understanding aviation operators' variability in advanced systems

BARTHA MIKLÓS–ZAKOTA ZOLTÁN

A FORTH programozási nyelv alkalmazási lehetőségeiről



Dunakavics

KÖNYVEK 22

DUE PRESS

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Tartalom

<u>MIRIAMA GOLISOVÁ-SAMER AL-RABEEI-UTKU KALE-ANDRÁS NAGY</u> Create an aircraft maintenance program	7
<u>UTKU KALE-SAMER AL-RABEEI-BRANISLAV RÁCEK-ANDRÁS NAGY</u> Analysis of utilization alternative fuels in the Aviation	21
<u>SAMER AL-RABEEI-BRANISLAV RÁCEK-PETER KORBA-MICHAL HOVANEK</u> <u>-UTKU KALE-ANDRÁS NAGY</u> The Impact of Aircraft's Chassis Maintenance on The Health of Mechanics	33
<u>MARIO MAURO SALVATORE-ALESSIO GALLORO-LEONARDO MUZZI</u> <u>-GIOVANNI PULLANO-PÉTER ODRY-GIUSEPPE CARBONE</u> Design of PEIS: A Low-Cost Pipe Inspector Robot	47
<u>ELIF KORUYUCU-MELIH YILDIZ-EBRU YAZGAN</u> <u>-UTKU KALE-ANDRÁS NAGY</u> Evaluating and Comparison of the Ergonomic Conditions of Two Representative Training Aircraft Cockpit to Improve the Efficiency of Flight Training	67
<u>MELIH YILDIZ-UTKU KALE-ANDRÁS NAGY</u> Analyzing Well-To-Pump Emissions of Electric and Conventional Jet Fuel for Aircraft Propulsion	83
<u>MELIH YILDIZ-SAVAŞ MUTLU-UTKU KALE-ANDRÁS NAGY</u> Environmental and Economic Analysis of Emission Reduction Strategies for Airport Ground Operations: A Case Study of Esenboga International Airport	103

<u>HELENA MANOJLOVIC</u> A gesztusalapú technológia helye az oktatásban	119
<u>GYÖRFFYNÉ HOLLÓ KRISZTINA</u> Az érintés nélküli adatgyűjtés kockázatai és a kockázatszámítás módszerei	141
<u>ZAKOTA ZOLTÁN</u> Az Edison programozási nyelv és szerepe a konkurens programozásban	163
<u>MARIA PAPANIKOU–UKTU KALE–ANDRÁS NAGY–KONSTANTINOS STAMOULIS</u> Macroognition for Predaredness in aviation: An opinion paper	181
<u>MARIA PAPANIKOU–UKTU KALE–ANDRÁS NAGY–KONSTANTINOS STAMOULIS</u> Understanding aviation operators' variability in advanced systems	189
<u>BARTHA MIKLÓS–ZAKOTA ZOLTÁN</u> A Forth programozási nyelv alkalmazási lehetőségeiről a számítástechnika hatékony oktatásában	205

Create an aircraft maintenance program

Abstract: Air traffic is accompanied by certain necessary rules that need to be followed. Air transport and safety are an integral part. Without strict rules that guarantee a high level of safety, air transport would not be able to develop. In aviation, the basis is a functional aircraft, which is operated in accordance with applicable regulations. Aircraft mechanics take care of the airworthiness of aircraft. Use aircraft maintenance manuals to guide aircraft technicians. The aim of the article was to approach the operation of the maintenance organization and points to the methodology of creating a certain aircraft maintenance program. Gradual analysis of the processes revealed that nowadays it is necessary to use the program, the electronic form, in relation to the written form as it was in the past. The result of solving the problem is the introduction of a maintenance program for a given type of aircraft. The proposal is to apply in practice monitoring on a monthly basis of new revisions of aircraft, engine and APU maintenance manuals, possibly by setting up a notification in the form of an e-mail on the introduction of a new current revision due to the prevention of aircraft grounding or failure of parts.

Keywords: Airtransport; maintenance; aircraft.

Introduction

Security, even if we don't realize it, is an everyday part of our lives. Ensuring security and survival has been a major human task since the beginning of history. However, there are areas where it is the responsibility of competent persons to secure safety. In the aviation industry, it is provided by technicians

* E-mail: miriam.golisova@student.tuke.sk

** *Technical University of Kosice, Branislav Ráček Department of Aviation Engineering, Faculty of Aeronautics*
E-mail: samer.abdo@tuke.sk

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

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

who follow the relevant standards and approved manuals for maintaining the airworthiness of the aircraft. Without strict rules that guarantee a high level of safety, air transport would not be able to develop. The International Civil Aviation Organization, ICAO, is implementing safety standards worldwide. The establishment of the internal market in air transport in Europe has ensured the guarantee of a uniform and high level of passenger safety on all flights within the Union. The national rules have therefore left room for common rules, the implementation of which is mandatory. National regulatory authorities and their voluntary cooperation authorities have also been replaced by a Union mechanism linking national civil aviation authorities, the European Commission and the European Union Aviation Safety Agency (EASA). Since 2003, EASA has been responsible in particular for preparing the rules that form the basis for the Commission's legislative proposals. The Commission, the Agency and the national competent authorities shall monitor the application of these rules in their respective areas of competence, but shall support each other. Common rules in the field of civil aviation security have their origins in and often reinforce ICAO standards and recommendations [1].

They gradually expanded to the entire air transport network. In general, they aim to prevent accidents at the earliest possible stage and thus consist in controlling them. Since 2003, common rules have also governed the airworthiness of aircraft, the way in which aircraft are designed, constructed and maintained. In 2008, the regulations were extended to air operations and flight crew training, on the way aircraft are to be used. In 2009, they were further expanded to include airport safety, air traffic management and the provision of air navigation services. All these rules shall apply equally to organizations and personnel responsible for their design, construction, maintenance and use, including aircraft and carriers from third countries operating in the Union. In 2015, the European Commission proposed that these rules be strengthened to take into account, the development of unmanned aircraft (drones) and the interdependence between aviation safety and other areas such as safety or environmental protection. The proposal extends EASA's remit in areas such as safety and the environment. It also proposed several changes to the structure of EASA. It can be noted that international cooperation in the field of aviation safety is also aimed at facilitating the exchange of goods and services, as an increased number of national technical standards could distort trade. [2], [3]

Of all the modes of transport, flying get up the greatest fear in unrivaled people. You can jump out of the boat, escape from a burning car or train. But in the case of an airplane crashing helplessly from a height of ten kilometers, the necessity of the end is as absolute as our dependence on the abilities of the pilot and the condition of the aircraft at the moment we board it. That is why the regulations in the field of air transport are among the strictest. Each aircraft in the first production run must pass certification tests. These will verify the flight characteristics of the machine, such as landing behavior, minimum and maximum speed or the time it takes for the aircraft to safely drop to a breathable atmosphere in the event of a loss of pressure. Inspectors monitor the performance of the aircraft together with the crew and tech-

nicians of the manufacturer. During the test, they produce dozens of records with measured outputs of the devices, which are then compared with standards and evaluated. The certificate, thanks to which the aircraft can carry passengers, is issued by the state civil aviation authorities. Every manufactured aircraft must also pass through the so called a flying program in which it must comply with all monitored technical parameters. [4]

Commercial aircraft only make money while transporting passengers or cargo not while they are waiting on the ground. While passengers are waiting for their luggage, the plane is easily prepared for the next flight. Mechanics begin work by checking the logbook for any mechanical failures recorded by the last flight crew. Any deficiencies affecting the safe operation of the aircraft are rectified. Wheels, tires, brakes, engine oil level and others are checked in the aircraft before the flight. The cleaning staff puts the passenger department in order. Kitchen, galleys are refilled with food and drinks. The fuel is refueled in tanks in the wings of the aircraft. Before the aircraft is ready to take off again, the crew performs an external inspection of the aircraft and notices anything that could endanger safety. This pre-flight service and immediate maintenance is performed every day on thousands of aircraft. But this is only a small part of what is needed to guarantee the safety of a large transport aircraft. Just as cars need regular service, planes also require a series of extensive and costly inspections. Who does this aircraft maintenance? How is this work done. [5]

Reach and finding of aircraft maintenance

The maintenance program for aircraft must be very carefully designed. During its lifetime, the aircraft will go through thousands of inspections, which are based on the manufacturer's recommendations and regulations of aviation authorities. Each inspection has a set work schedule and a list of components to be inspected. The inspection of each item on the list is signed by certified technicians, who are divided according to specialization. Some focus on motors, some avionics, others electronics. Regular daily, weekly and annual inspections are the basis. The daily inspection consists of a visual inspection of the aircraft and an inspection of the systems. As more crews can take turns in the cabin at a certain time, each captain performs his own visual inspection when taking over the aircraft, the so called walk around check. If, for example, he finds a bird stuck on the landing gear during the previous flight and the technician did not notice it, he must make a record of it and the aircraft will pass the special inspection prescribed in the event of a collision with a bird at the earliest opportunity. Another inspection is made by the technician when taking off the aircraft. The most common check is to check for leaking hydraulics. However, it is not an exception if the aircraft is heading upwards, which is not in one hundred percent order. The pilot checks the found deficiencies with the manufacturer's manual and in case of minor faults, for example some of

the lights do not light up or a part of the air conditioner falls out, he learns in the manual that he can do it for another four years before repairing. Every approximately 250 flight hours, the aircraft then undergoes a minor maintenance check. This involves the replacement of tires, filters, seals and bearings, or ultrasonic inspection of stressed parts of the aircraft. The daily inspection lasts about an hour and a half, during the weekly the machine goes to the hangar and the inspection lasts about a day or two. [6]

OVERHAUL MAINTENANCE

The aircraft undergoes further inspections after flying a certain number of kilometers, resp. completing a certain number of take offs and landings. Pilots also call it „heavy maintenance”. Simply put, the plane unfolds and reassembles. All defective or fatigue worn components will be replaced with new or refurbished ones. For example, the Boeing 737 CL has eight types of general maintenance prescribed and undergoes them every four thousand flight hours or 24 months. In addition, modern aircraft systems monitor the age of their components and report components that need to be replaced for their longevity. In addition to regular inspections, aircraft are also directed at non-scheduled inspections, which are prescribed by the aircraft manufacturer’s manuals or by multinational aviation agencies such as the European Organization for the Safety of Air Navigation. It is also good to know that in an aircraft, all systems are doubled to triple and almost no accident is caused by a technical error, but by a combination of various influences such as weather, pilotage, technology, control or the human factor. [4]

Ensure the flight ability of aircraft

The mission of aircraft mechanics, together with technicians and maintenance personnel, is to ensure that aircraft are capable of flight. This means inspecting, troubleshooting and overhauling a large number of specialized parts that allow the aircraft to fly. This prescribed maintenance includes everything from overhauls of jet engines weighing more than four tons to replacing ragged carpets in passenger compartments. Most mechanical problems receive immediate attention. However, in other cases, the aircraft maintenance program determines the maintenance according to the number of months during which the aircraft flew, or according to the number of cycles and the number of hours flown, not according to the total number of kilometers flown. This program begins with the maintenance recommended by the aircraft manufacturer to the aircraft operator and which must be acceptable to the national aviation authorities. Each aircraft has its own maintenance program, ranging from basic to more complex to the most demanding inspections. These checks are indicated by the letters A, B, C, D, L or Q. One 747–200 took about eight years to fly ap-

proximately 36,000 flight hours. Then it was time to head to the hangar for a thorough inspection, sometimes called Inspection D. Overhaul–Maintenance, the Aviation Management Magazine, commented on this complex and time-consuming inspection: “Its goal is to return the entire the aircraft structure to its original condition. Control D requires 15,000 to 35,000 hours of strenuous work and can decommission an aircraft for 15 to 30 days or longer. The total cost ranges on average from \$ 1 million to \$ 2 million.” Of course, the cost depends on the number of technicians performing maintenance, the use of special technologies in non-destructive testing, or the type of aircraft. Typical control D equals 70 percent of the work and 30 percent of the material. Part of these costs is, of course, included in the price of your ticket. [5], [7]

D-check

As soon as the aircraft is parked in the hangar, in a huge complex of aircraft services, auxiliary workshops and warehouses, the maintenance team sets to work. Workbenches, platforms and scaffolding are set in a position that allows access to otherwise inaccessible parts of the aircraft. Seats, floors, walls, ceiling panels, kitchen equipment, toilets and other equipment are dismantled or removed from the aircraft for thorough inspection. The plane is basically „dissected”. The workers, following the step by step instructions, look for signs of cracks or corrosion of the metal parts of the aircraft. Entire parts of the chassis, hydraulic systems and engines can be replaced. Inspection D requires the expertise of designers, technologists, technical inspection inspectors, aeronautical electricians, tinsmiths, mechanics of aircraft structures and engines, and most of these workers have a valid certificate for their work. When equipment repairers in the aircraft departments, painters and cleaners are added, the number of maintenance staff rises to more than 100 per day. Many other staff provide the necessary equipment, components and services. Over time, in-flight vibration, repeated build up of overpressure in the passenger compartments and shocks at thousands of take offs and landings cause cracks to form in the aircraft’s metal structure. To solve this problem, the Air Force uses diagnostic principles similar to those used in medicine. Both industries use methods such as radiology, ultrasound, endoscopy, to detect what the human eye cannot see. [4]

Maintenance inspectors use various methods to x-ray the chassis, wings and engines. For example, a sheet of X-ray film is placed on a given part of the motor surface. A long metal tube is then inserted into the shaft cavity, which is located along the motor. Finally, a tablet of radioactive iridium Ir, a strong isotope no larger than an eraser on a pencil, is inserted into the tube to expose the X-ray film. The developed film helps to detect cracks and other defects that may require repair or replacement of the engine. During check D, samples of aircraft fuel and fluid of its hydraulic systems are sent for laboratory analysis. If microorganisms are present in the fuel sample, liquids are used to remove microorganisms from the fuel of jet engines, fungi and bacteria that may enter the tanks with air, water or fuel. This treatment is important because

microbial growth by products can cause corrosion of the protective layer on the surface of the tanks. They can also damage the fuel sensors in the tank, causing pilots to receive inaccurate data from fuel gauge devices. Due to normal wear, vibration and damage to the inner seal, cracks can form in the tanks. Fuel tanks built into the wings of the aircraft. On board the aircraft at the height of the third floor above the ground, an avionics technician checks a built in monoscope on a radar monitor to monitor the weather. Pilots use this device to monitor storms and turbulence, which can be up to 500 kilometers in front of the aircraft. These devices are used to avoid them. [5], [6]

During inspection D, safety devices such as life jackets and emergency lighting are inspected or replaced. Jet aircraft normally fly at altitudes from 6 to 11 kilometers above the ground, where the oxygen content and atmospheric pressure are insufficient to sustain life. How is this problem solved? The aircraft's pressure system draws in outside air and then compresses it. This air is finally let into the passenger compartments at an acceptable temperature. If the air pressure in the compartment drops below a safe level, oxygen masks will automatically fall out of the space above the passengers' heads. Emergency oxygen is thus delivered to the passengers until the aircraft descends to a height where emergency oxygen is no longer required. In some aircraft, oxygen masks are stored inside the backrests, not in the space above the heads. Therefore, attention should be paid to brief information for passengers at the beginning of the flight, which indicates the location of the oxygen masks.

With more demanding maintenance, it is also time to replace walls, ceiling panels, as well as to replace carpets, curtains and seat upholstery. The kitchen equipment is disassembled, cleaned and disinfected. [5]

Ready to fly

After several days of inspections, checks, repairs and maintenance, the aircraft is ready to leave the hangar and transport passengers and cargo again. But before the aircraft starts flying again, it can be flown by a special team to ensure that all systems work properly. A brief consideration of how much work of experts and technologies enters the process of keeping an aircraft in good technical condition deepens our confidence. However, it is said that the most effective tool in aircraft maintenance is the human factor, sharp eyes and a flexible mind. Trained workers take their work very seriously. They know that careless maintenance can cause big problems. Their goal is to provide a reliable aircraft that will transport you safely, comfortably and quickly to your destination. One cycle corresponds to one take off and one landing. Certificates for work on aircraft engines and structures allow the mechanic to certify the work he has performed on the structures, systems and engines of the aircraft [4].

Methodology of writing AMP

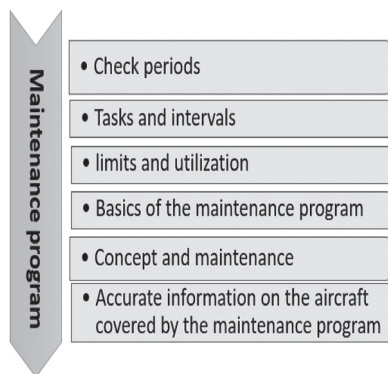
The methodology of writing a maintenance program follows two basic principles. Finding out whether it is a new maintenance program or a follow up to the current maintenance program. In the case of the first maintenance program, it is necessary to summarize all the documents, documentation and manuals from which the data are collected. After a thorough analysis, a document will be created that will contain these requirements. Each organization in charge of creating a maintenance program uses its own approved form of document. In any case, it is necessary to provide information such as basic data about the aircraft, engines or APU. Each of these aircraft components is manufactured in accordance with the maintenance manuals, from which information, references and instructions for performing maintenance must be entered. The basic information table (Tab. 1) must also include a revision of the maintenance manual according to which the instructions were applied to the maintenance program.

Table 1. General aircraft information

General Information	
Manufacturer	Textron Aviation Inc.
TCDS airframe	EASA TCDS IM.A.XX
TCDS engine	EASA TCDS IM.E.XXX
A) XX-XXX	
Type/Model	560XL (XLS+)
S/N airframe	560XL-0000
Date of Manufacture	13 Jan 2021
Engine Model & P/N	Pratt and Whitney Canada PW545C, P/N: XXX
APU Model & P/N	Honeywell RE100 (XL), P/N: XXX
AMP concept	MSG-3 scheduled inspection programme
Engine MP	Baseline, LUI, MSG-3
ECTM	Optional
Flight Profile	normal
Special Operating Environment	Continually operated or based in mild environment; Microbiological contamination inspection 12 months
Anticipated Annual Utilization	500 FH
Tracking & Records	XXXX
Applicable appendices ¹	Appendix A

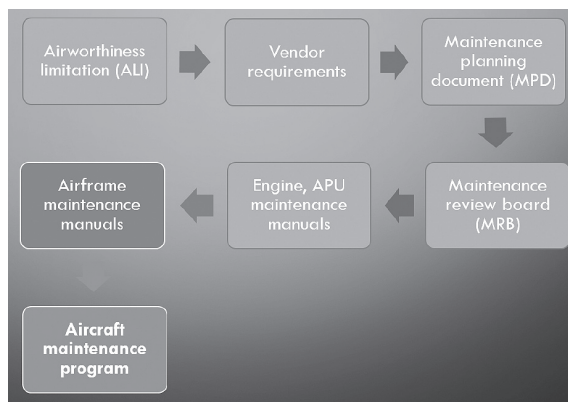
Each issued and approved revision of the maintenance program is kept under the approval number. At the beginning of the maintenance program, there is content for faster information retrieval, shortcuts for explanations, and last but not least, a very important description of the changes made in the maintenance program. Every change made is marked, for faster and more efficient search of actions. Since it is the time of electronics, of course, even in air traffic, computer programs are used, which, after programming, greatly facilitate the search and, of course, can alert you in time to the next maintenance. Therefore, each maintenance program also includes attachments from such systems. In the figure 1 we can see additional information of maintenance program.

Figure 1. Process of maintenance program



If a maintenance program has already been written, only the same model is added to it, it must be examined whether it falls under the same processes and only its registration mark is entered. The same applies when removing the aircraft from the maintenance program.

Figure 2. Development of maintenance program



Result and discussion

Through gradual examination and analysis, we found that each manual that is part of the AMP is revised based on knowledge from the manufacturer of aircraft, engines, APUs and components. Of course, this has its own hierarchy, and if they want to get to the beginning of the error, they have to go through all the suppliers of the components and analyze the possibilities of wear and tear of the product or materials. The manufacturer of aircraft, engines, APU deals with the knowledge it has from the suppliers of instruments used in the manufacture of aircraft. Further investigation identifies the issue of the occurrence of the error and, of course, the circumstances of the occurrence. In aviation, a reliability program is very important, where data is summarized during the use of aircraft, engines or APUs and then provided to manufacturers to streamline further production. The obligation to maintain the airworthiness of aircraft is to eliminate the error, which is why the Airworthiness directive is issued when dealing with the issue, which points out the steps to correct the error.

These documents are classified according to their degree of importance into three main categories:

1. Mandatory AD,
2. Recommended AD,
3. Optional AD.

Ultimately, the maintenance manuals are revised as a result of long-term examination of all factors and subsequent implementation for immediate use in operation. Therefore, unfortunately, it is not possible to say exactly at what intervals the maintenance manuals are revised. One thing is certain, however, after the release of a new revision of the manual, it is necessary to implement it in AMP by the end of the following month from the finding of the release of a new revision.

The maintenance program, which is approved by the competent authority, must comply with:

- instructions for continued airworthiness issued by the holder of the type certificate, supplemental type certificate and any other organization issuing such data in accordance with Part-21,
- instructions issued by the competent authority if they differ from previous airworthiness instructions or if no specific recommendations are available,
- instructions defined by the owner, the operator, which are approved by the competent authority.

The maintenance program must also include a reliability program based on the MSG maintenance management method and the condition monitoring method.

The maintenance program must be subject to regular revisions and, if necessary, amended. Each implemented revision is checked by the transport authority. The purpose of revisions is to ensure that the program remains valid in the light of maintenance experience, taking into account new or amended maintenance regulations, which will then be published by the type certificate holder. The maintenance program shall reflect the applicable mandatory requirements mentioned in the documents prepared by the type certificate holder in accordance with Part 21 A.61. Instructions for continuing airworthiness. [8]

The main goal of aircraft maintenance is to minimize overall operating costs and maximize profits, while maintaining the following requirements:

Figure 3. Requirements of main goals



Each aircraft has a market value that varies. The main purpose of the maintenance is to ensure the aircraft in the operational state - safety and to maintain the market value [9] [7].

The following areas are monitored during aircraft maintenance. The economic objectives must ensure, in particular, the prevention of interruptions in the operation of maintenance due to unexpected events, e.g. accidents, breakdowns, accidents, injuries and the like. They must ensure the achievement of the planned technical life of technological equipment and the implementation of maintenance activities before the occurrence of failures, efficient use of internal hangar capacities and favorable use of maintenance personnel. Humanitarian goals are primarily aimed at ensuring the safety of technical equipment and safety at work in maintenance. Compliance with applicable aviation legislation and creation of conditions for transposition of EASA Guidelines. The organization must take measures to prevent and minimize negative impacts contributing to environmental damage. [10]

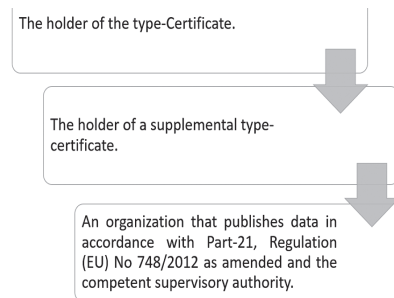
AIRCRAFT MAINTENANCE PROGRAM

In accordance with applicable legislation, each aircraft registered in an aircraft must have an approved maintenance program. The maintenance program must include all regular maintenance tasks to be performed on the aircraft and should be based on:

- approved maintenance documents (eg MRB, MPD, Maintenance Manual (MM)),
- the rules in force (L 8, L 8 / A, Regulation (EU) No 1321/2014 as amended,
- recommendations of the manufacturer and the Transport Authority (eg AD, service bulletins). [11], [12]

The maintenance program must be in accordance with the continuing airworthiness directives issued by the follow step as we can see in the figure 2 below.

Figure 4. Process of maintenance program.



The transport authority approves the applicant's maintenance program in accordance with Commission Regulation (EU) no. 1321/2014 on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances and on the approval of organizations and personnel involved in these activities, Part M, points M.A.302 and Decision of the Executive Director of the European Aviation Safety Agency no. 2015/029 / RM of 17 December 2015 Subpart C, AMC points M.A.30 [6].

If the maintenance program submitted differs from the type certificate holder's recommendations, the applicant shall provide the Authority with convincing evidence and explanations demonstrating the same level of safety for those parts of its maintenance program that differ from the type certificate holder's recommendations. The transport authority will request additional evidence if the evidence and explanations provided by the applicant are not considered sufficient. The Transport Authority shall approve the proposed maintenance program for the aircraft entered in the aircraft register before the certificate of airworthiness is issued. The transport authority may approve an incomplete maintenance program at the commencement of the operation of the aircraft or the operator's activity, provided that the approval of the maintenance program is limited to a period not exceeding any required maintenance not yet approved. [6], [7]

Conclusion

The revision of the maintenance program is not only the addition / removal of the aircraft from the fleet, but also in the event of any necessary changes, whether by finding a new revision of the manuals or any modification changes. Each maintenance program must go through approval processes. It is considered a very necessary and important document for the aircraft. In the event of non-compliance with the procedures and intervals specified in the maintenance program, the aircraft must be grounded and becomes inoperable until repaired. The maintenance of aircraft components shall be performed by appropriately approved organizations in accordance with Subpart F (This Subpart establishes the requirements to be met by an organization to be competent to issue or maintain an approval for the maintenance of aircraft or aircraft components), or Part145. Prior to commencing maintenance, a written order must be agreed between the organization and the customer to clearly specify which maintenance is to be performed. All maintenance must be performed in accordance with the requirements of Part M. Upon completion of all required aircraft maintenance in accordance with this Subpart, a Part M certificate of release to service shall be issued. A valid maintenance program is the basis for aircraft maintenance planning.

Funding: This research was funded by the EFOP-3.6.1-16-2016-00003 project. The project is co-financed by the European Union.

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

References

- [1] Mihalцова, Bohuslava–Pruzinsky, Michal–Hvastová, Jozefína–Zach, Rudolf: Podnikové plánovanie. Technická univerzita v Košiciach –Letecká fakulta. Prvé vydanie 2011: 228.
- [2] Európsky parlament – Letecká doprava: Bezpečnosť. [online]. [cit. 24.3.2021] Dostupné na internete: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_tecniques/2013/0506s10/04A_FT\(2013\)050610_SK.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_tecniques/2013/0506s10/04A_FT(2013)050610_SK.pdf)>.
- [3] Európsky parlament – Informačné listy o Európskej únii. [online]. [cit. 24.3.2021] Dostupné na internete: <<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/sk/sheet/134/letecka-doprava>>.
- [4] Kontrola lietadiel je extrémna. [online]. [cit. 06. 04. 2021] Dostupné na internete:<<https://finweb.hnonline.sk/ekonomika/521085-kontrola-lietadiel-je-extremna>>.
- [5] Internetová knižnica Strážnej veže. [online]. [cit. 07. 04. 2021] Dostupné na internete: <<https://wol.jw.org/sk/wol/d/r38/lp-v/101999644#h=5>>.
- [6] European Union Aviation Safety Agency. [online]. [cit. 1. 4. 2021] Dostupné na internete: <<https://www.easa.europa.eu/acceptable-means-compliance-and-guidance-material-group/part-m-continuing-airworthiness>>
- [7] Kraus, Jakub–Vittek, Peter–Szabo, Stanislav: Moderní přístup k hodnocení provozní bezpečnosti v letectví. CERM, s.r.o. Brno. Prvé vydanie 2016.
- [8] Vajdová, Iveta – Makó, Sebastián – SZABÓ, Stanislav,jr.: Finančné plánovanie. Technická univerzita v Košiciach – Letecká fakulta. Prvé vydanie 2020: 285s.
- [9] Technická univerzita Ostrava – Miloslav Harant. [online]. [cit. 23. 3. 2021] Dostupné online na internete: <<https://core.ac.uk/download/pdf/8974761.pdf>>.
- [10] Dopravný úrad. [online]. [cit. 23. 3. 2021]. Dostupné online na internete: <<http://letectvo.nsat.sk/letova-sposobilost/letova-sposobilost-lietadiel/program-udrzby/>>.
- [11] Grecik, Juraj a kol. : Manažérstvo údržby – synergia teórie a praxe. BEKI design, s.r.o. Košice. Prvé vydanie 2013: 624.
- [12] Pacajová, Hana – Sinay, Juraj – Glatz, Juraj: Bezpečnosť a riziká technických systémov. Technická univerzita v Košiciach – Strojnícka fakulta. Prvé vydanie 2009: 246.

Analysis of utilization alternative fuels in the Aviation

Abstract: The world as known it is changing under pressure from the public and governments to reduce emissions. The automotive industry receives or buys emission permits. The aviation industry is following a similar path as automotive industry. Emission permits are reflected in the price of fuel and the price of the ticket is associated with it. Air carriers and manufacturers of aircraft and engines who care about the favorable development of the world's ecological route have joined forces and are working to reduce emissions. This effort is much greater, namely to achieve zero emissions. Fuel producers invest considerable funds in the production of fuel, which will leave a lower environmental footprint. Focusing on environmentally friendly energy sources as fuels is the goal of the largest aviation manufacturers.

Keywords: Alternative fuels; emission reducing; aviation environment.

Introduction

This study aims at the emission in aviation and the solutions to get closer to zero-emission. The ecological situation getting worse. In the last decades, aviation transport has been developed quite fast. Aviation transport is not anymore only for rich people but it widely open for people who want to travel. Transportation by aircraft is much cheaper and faster like transport by car, bus or train. As a result of such the development of aviation, an increase in air emissions has also become necessary. [1], [2], [3] However, the worldwide pandemic situation helps temporarily to improve the emission of the aviation industry. Government regulations restricting mobility have activated emissions reductions of up to 26 percent in some regions. The consequences of the measures and government regulations will have an impact on the develop-

* *Budapest University of Technology and Economics*
E-mail: ukale@vrht.bme.hu

** *Technical University of Kosice, Faculty of Aeronautics*
E-mail: samer.abdo@tuke.sk

*** *Technical University of Kosice, Faculty of Aeronautics*
E-mail: branslav.raceka@tuke.sk

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

ment of emissions in the next decade until the resumption of operations to such an extent that emissions reach values before pandemic periods. [4], [5]

ICAO study shows that fuels used in road transportation are not useable and suitable for aviation transportation. The main problem is the certification of these fuels in aviation. They have to satisfy strict requirements about the fuel used in. the only few fuels meet the requirement with aviation. There should be no fuels that contain any bacteria. Bacteria can contaminate fuel tanks and can damage fuel lines or plugged the filters, nozzles. [6], [7] IATA overview shows that till the end of 2020 was producing 40 million liters of SAF. This volume represents only 0.015% of the total consumption of jet fuel. [8], [9]

The way how to decrease emissions is alternative fuel or its substitution with eco-friendly fuel. In the automotive industry are used various alternative fuels instead of diesel or petrol. In the field of aviation are attempted for alternative fuels. Alternative power can be combining with kerosene-type fuel for commercial aircraft. This power can be stored or gathered from photovoltaic cells, fuel cells, or ultra-capacitors. This type of power is suitable for propeller aircraft. For large commercial aircraft are used to sustain alternative fuels. Studies confirm that the ecological path is similar to kerosene fuel but this type of fuel provides an eco-friendly benefit on a life cycle basis. [10], [11] Study sustainable aviation fuel concludes that there are minimal differences between casual fuel JET A-1 and fuel blend of Amyris Farnesane. As their aromatic contents are similar, there was a slight change in smoke numbers between the various fuels. [12] Commercial flights feed with biofuel have been approved since 2008. Since that time has been regulated legislative for alternative fuels Renewable Energy Directive (Directive 2009/28/EC). The European Union in cooperation with the European air carrier's leaders such as Lufthansa, AirFrance/KLM, and British Airways and leading biofuels produces such as Nestle Oil, Biomass Technology Group, and UOP. [13], [14]

In order to reduce the viscosity of vegetable oils, it is necessary to be processed by some treatments before they are consumed such as transesterification, emulsification hydrogenation, blending, hydrotreated vegetable oil, or green naphtha. By utilizing these methods, the combustion properties significantly will be improved and the amounts of emissions will be reduced.

The greenhouse effect has come to the forefront in recent years since it has been blamed on the warming of the atmosphere, the melting of icebergs, and the overall deterioration of human health. In connection with this issue, the word fuels from renewable sources, so-called biofuels, appears. Metabolic engineers have created a fourth generation of biofuels based on algae to biofuels technology. [15], [16]

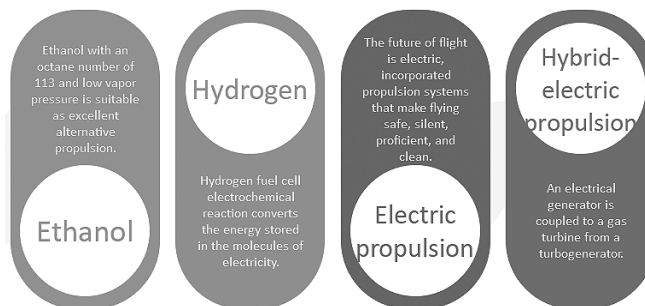
On Sunday, November 29, 2020, the first commercial cargo flight took place, the fuel consumption of which was completely covered by the so-called Sustainable Aviation Fuel (SAF). The Boeing 777F of Lufthansa Cargo marked LH8406, took off from Frankfurt to Shanghai at 8:10, from where it subsequently returned to the Hessian capital as the first CO₂-neutral freight. [17]

Materials and methods

This part provides a survey of studies undertaken in the alternative propulsion and their impact environmental impact on aviation. however, alt

Many companies are engaged in the production of a clean engine or clean drive that would be less stressful for the environment and human health. The simplest new and revolutionary technologies are implemented for small companies, which can be very flexible in terms of the use of materials or experimentation. Alternative propulsion is an approach to decrease the ecological effect of aviation, however, considerably more speculation to diminish costs is required.

Figure. 1. Used alternative propulsions in the aviation.



The aviation industry is increasingly focusing on the development of the use of alternative fuels and its use in order to improve the quality of aviation services and make the future of aviation useful. Figure 1 shows some alternative propulsions used in the aviation industry.

Propulsions admixed with ethanol have a bigger enthalpy of vanishing, which delivers a bigger temperature drop of the ingested air in the carburetor. For aviation that is inclined to carburetor icing, utilizing ethanol admixed fuel expands the danger.

This study is pointing out to use of alternative fuels in the aviation industry in order to minimize the environmental aviation impact and improving aviation safety.

Research and finding

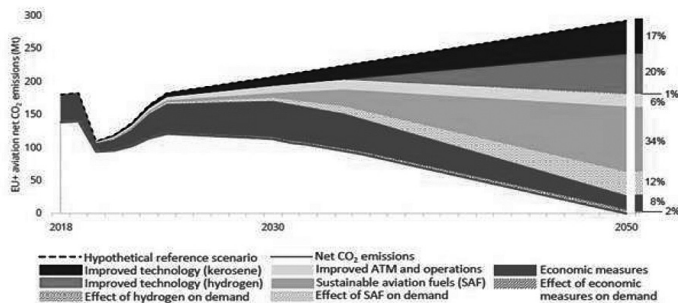
The company Slovnaft Slovak fuel manufacturer produces fuel for aircraft engines. The fuel designation is JET A-1. This fuel meets the strict standards of operation and storage of fuel, which are subject to storage, refueling, and its transport. Normy British Ministry of Defense Standard DEF STAN 91-091 for Turbine fuel, Aviation „Kerosene Type“, JET-A1, NATO CODE F-35, American National Standard ASTM D 1655 Standard Specification for Aviation Turbine Fuels, JIG (Joint Inspection Group) EI/IG 1530 Quality Assurance Requirements for the Manufacture, Storage and Distribution of Aviation Fuels to Airport, in all cases, the product is covered by the latest edition of the relevant technical specifications and standards. [10] One of the greatest advantages of the SAF is that it can be added to conventional aviation kerosene which can be used for daily flight operations without making any modifications to the aircraft systems. Therefore, a quantity of SAF for flights Frankfurt to Shanghai and back has played an important role. [17]

Figure 2. The first CO₂ neutral flight. [17]



The KLM Corporate SAF program fits perfectly into the Fly Responsibly initiative launched by KLM in 2019. KLM is at the forefront of Fly Responsibly to achieve a more sustainable aviation future. The main goal of the KLM airline is to create more sustainable operations, products, and processes which can be only possible if all sectors take responsibility for sustainability. In the framework of the Fly Responsibly, KLM encourages people to use the CO2ZERO CO2 Compensation Scheme and invites passengers to reconsider their transportation options before booking a plane ticket. [18]

Figure 3. Plan of decarbonisation for European Aviation. [20]



United Arab Emirates airline Etihad Airways has dared to use, for the first time, an environmentally friendly alternative to traditional petroleum-based aviation fuels. The fuel was manufactured by the Masdar Institute. Khalifa University participated in the development. The plants used to produce the fuel were grown on a special desert farm in Masdar. It is the first farm in the world to be built for the purpose of producing vegetable fuel. However, it was not a test in laboratory conditions, but a real flight. Equipped with a pair of engines from General Electric, the Boeing 787 had to deal with biofuel mixed with traditional aviation fuel and did an excellent job. The machine completed the flight from the city of Abu Dhabi to Amsterdam without complications. The journey to the destination took more than 7 hours. Why is this plant so popular in the production of alternative fuels? It is not a coincidence at all, as its shoots contain more than 30% natural oil. Maybe that's why they consider it the plant of the future. In addition to being used for the production of fuels, it is a very popular food for humans and is also used to make animal feed.

ETHANOL

Ethanol is a colorless flammable liquid that has high octane numbers above 100. Ethanol with an octane number of 113 and low vapor pressure can be considered an excellent alternative to gasoline. The low pressure of the ethanol might bring negative effects on engine performance and efficiency, particularly when the engine is cold. According to fuel regulations, the fuel must have enough energy for a cold start, even under a very cold temperature of -30 °C.

For the production of ethanol but also methanol, several plants can be used as suitable raw materials, e.g. cereals, potatoes, maize, sugar cane, sugar beet, fruit, and other crops. The process of producing alcohol is called fermentation on sugar solutions. Sugars can also be made from vegetables or cellulose (wood).

After 30 hours of fermentation, the slurry contains approximately 6-10% alcohol, which can be removed by distillation and used as a liquid fuel in internal combustion engines. Due to the fact that the raw material used is not completely converted into biofuel, valuable by-products are created in this process, which can replace protein feeds.

A certain disadvantage of the production of ethanol from agricultural products is the fact that, in the event of an effort to replace more conventional fuels, such large-scale production on a global scale would be in competition with food production. At a time when many people in the world are starving, such an effort would hardly be justifiable. In addition, the cultivation of monocultures that would accompany such a strategy could create biodiversity and other problems. Given the current nature of agricultural production, it is also necessary to use a large number of fertilizers to grow the raw material, and this brings with it additional disadvantages in the form of environmental pollution. [20]

METHANOL

Methanol has several advantages and disadvantages compared to conventional fuels. The advantage is that production technologies are tested in practice, reliable and widely used (alcohol production!?). The advantage of methanol over ethanol is that there is wider potential for feedstocks to produce it. Methanol also has the advantage over gasoline in that it has a higher octane number of about 105. Gasoline has an octane number between 92 and 98. A higher octane number provides a higher compression with reducing the engine knocking, thereby performing a better engine efficiency. For diesel engines, it is the cetane number that is decisive for the fuel. The lower the cetane number, the longer the time required for compression ignition. Methanol is characterized by having a lower cetane number than diesel.

It is also an advantage that methanol has a high calorific value, allows higher combustion efficiency in the engine, has a lower combustion temperature, produces less pollutants, and generally poses less risk. In addition, methanol is cheaper compared to ethanol. Methanol is also easier to handle than petrol, as it is less volatile, safer in traffic accidents, and can be extinguished by water, as methanol is soluble in water. The fire can be very easily eliminated even at a short distance from the fire, which is a consequence of the low flame temperature.

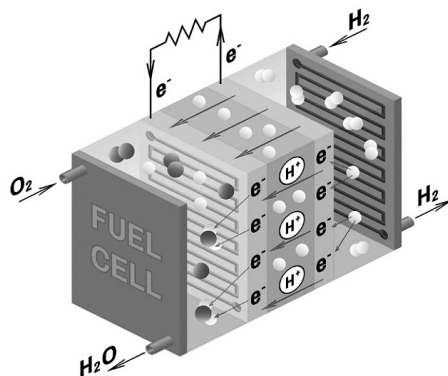
HYDROGEN

Hydrogen is a clean and safe energy source that can be used to power vehicles, and industries, etc. The fuel cell is an electrical cell that converts the chemical energy in hydrogen and other fuels to electricity

by providing high efficiency and low environmental impact. They can be used for energy storage in the medium to long term.

As seen in the Figure 6, the basic structure of the fuel cell consists of two electrodes, one anode-negative electrode, and the other cathode-positive electrode, and an electrolyte.

Figure 4. Hydrogen fuel cell. [20]



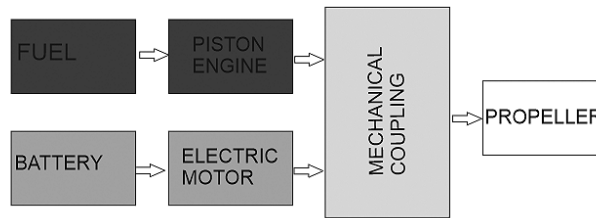
According to the flightpath 2050 project, this plans to reduce CO₂ emissions to zero. The Covid -19 pandemic contributed to the significant decline in aviation traffic. Air transport faces greater challenges than other sectors due to the not-so-easy implementation of alternative fuels or alternative types of propulsion for reasons of safety and reliability and relatively low economic costs. The association, therefore, seeks to quickly adopt their recommendations by the European Commission and governments in the framework of the „EU Pact for Sustainable Aviation”, which is expected to be approved by the end of 2021. This has greatly facilitated the financing of the project and its implementation.

With new technologies, it is possible to achieve a 30% reduction in engine emissions by 2035. Aircraft powered by alternative hydrogen fuel would be able to reduce emissions per engine by 100%, which is zero CO₂ emissions. Aircraft with such propulsion could fly within European airspace. [21]

ELECTRIC AND HYBRID-ELECTRIC PROPULSION

The revolution in aviation is the hybrid - electric drive. This drive is revolutionary in both the automotive and marine industries, not least. Today, this propulsion is used for small aircraft with a low take-off weight and drones. The concept of hybrid propulsion systems provides comparably the same range but at the expense of lower speed and increased weight. A higher amount (45%) of hybridization also provides the desired range, but the weight of the aircraft increases significantly with the same amount of payload, which is likely to compensate for fuel savings when the total cost and life cycle impact are taken into account.

Figure 5. Hybrid-electric propulsion.



Overall, the aviation sector is responsible for 2–3 percent of the world’s total CO₂ emissions. If the current growth in aviation use is maintained, the share of emissions generated by aviation is expected to hit 10 percent by 2050, or 24 percent if the desired reductions in emissions from other industries occur as estimated by several researchers. Although aviation fuel consumption has been improved over the last 50 years, the economic and social development has been supported by the aviation sector which invests to last 1.5 times as global GDP. Further sharp expansion of air traffic is expected after returning to the pre-pandemic period. [22], [23]

Figure 6. Electric propulsion.

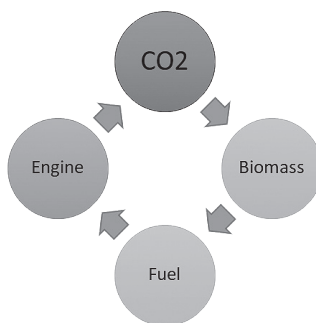


Most developments in electric propulsion take place in leading aerospace technology centers such as Europe and North America. According to David Fessler et al., [24] and Nevzet Kaya et al, the approximately 215 aircraft under development are the majority of purely electric ones, whose source of energy is only batteries, although greater development aviation market is experimenting mostly with turboelectric hybrid propulsion with traditional hydrocarbon fuels to enable range and performance.

Results and discussions

The aviation industry long time dealing with environmental change specific activity, On the one hand, rapid growth is giving more and more people around the world access to travel opportunities that their parents or grandparents never had. The aviation industry's path to reducing its climate footprint depends on the dramatic expansion of biofuel production in aviation to meet the set targets. However, the use of biofuels in aviation is still limited and there is no global regulatory framework to ensure that biofuels are used to reduce actual aviation emissions. Efforts to supply 100% aviation fuel from alternative sources by 2050 are almost certainly unattainable and mechanisms for the rapid introduction of alternative aviation fuels do not yet exist.

Figure 7. Alternative fuels.



produce less CO₂ emissions. When evaluating individual models, it will also be important that they do not have harmful effects on agriculture, land use, and water. They did not increase the demand for food. At the same time, however, their mass production and overall distribution must be possible.

The motivation is not only environmental awareness, but also new European legislation. Emissions from aviation must be reduced by 3% by 2012 and by 5% a year later. At the same time, airlines will have to trade in CO₂ emissions from 2012. This follows from the reform of the European Emissions Trading Scheme approved by the European Parliament.

In the United States, the Federal Aviation Administration and the X Prize Foundation have joined forces to develop green aviation fuels. Together, they have launched a call for tenders for producers of renewable fuels that are not based on fossil fuels and do not affect agricultural production or increase harmful emissions. The foundation can fund the project with \$ 10 million to \$ 30 million.

The initiative stems from the „Second Generation Air Modernization” program, which aims to double US air traffic by 2025 using renewable fuels.

Conclusion

Presently, a large number of researchers and studies consider alternative fuels for today’s aircraft engines, however, the alternative fuel sources derived from kerosene are relatively limited. Modern technologies, methods, and strategies for the application of alternative energy sources are related to developing new powertrains, creating new concepts and approaches. The development and deployment of alternative fuels in aviation have already begun in full swing and aviation will become a leader in this field. Fossil fuels in aviation form the mainstay of fuel. Mixtures of renewable fuel, biofuels, and fossil fuels are initially in use for aircraft turbine engines. Alternative drives such as battery drive face the problem of increased weight, low speed, and short-range, the problem of distribution and storage of batteries is not solved. Unfortunately, this energy is not so clean, as still a substantial part of the electricity is produced in coal-fired power plants. The best fuel is the use of hydrogen when emissions are zero and vapours are water.

Funding: This research was funded by the EFOP-3.6.1-16-2016-00003 project. The project is co-financed by the European Union.

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

References

- [1] Lund, M. T.–Aamaas, B.–Berntsen, T.–Bock, L.–Burkhardt, U.–Fuglestad, J. S.–Shine, K. P. (2017): Emission metrics for quantifying regional climate impacts of aviation, *Earth Syst. Dynam.*, 8. Pp. 547–563. <https://doi.org/10.5194/esd-8-547-2017>.
- [2] Viet Van Pham–Jiangjun Tang–Sameer Alam–Chris Lokan–Hussein A. Abbass (2010): Aviation emission inventory development and analysis. *Environmental Modelling–Software*, 25. (12.) Pp. 1738–1753. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.04.004>.
- [3] Yilmaz, Nadir–Atmanli, Alpaslan (2017): “Sustainable alternative fuels in aviation,” *Energy, Elsevier*, 140. (P2.) Pp. 1378–1386.
- [4] Le Quéré, C.–Jackson, R. B.–Jones, M.W. et al.: Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COV-ID-19 forced confinement. *Nat. Clim. Chang.* 10. Pp. 647–653 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>
- [5] Nevzet Kaya–Önder Turan–Adnan Midilli–T. Hikmet Karakoç: *Exergetic sustainability improvement potentials of a hydrogen fuelled turbofan engine UAV by heating its fuel with exhaust gases. international journal of hydrogen energy.* 41. 2016/5/25.
- [6] Philippe Novelli: *SUSTAINABLE ALTERNATIVE FUELS FOR AVIATION*. https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/2014-Kenya/6-1_AlternativeFuels-ICAO.pdf
- [7] Zhang, C.–Hui, X.–Lin, Y.–Sung C. J. (2016): Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54. Pp. 120–138.
- [8] Philippe Novelli: *SUSTAINABLE ALTERNATIVE FUELS FOR AVIATION*. https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/2014-Kenya/6-1_AlternativeFuels-ICAO.pdf
- [9] IATA, available <https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/>
- [10] Sustainable aviation fuels guide, ICAO, December 2018 https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_100519.pdf
- [11] Bicer, Y.–Dincer, I. (2017): Life cycle evaluation of hydrogen and other potential fuels for aircrafts. *Int. J. Hydrogen Energy* 2017, 42. Pp. 10722–10738.
- [12] Sustainable aviation fuels guide, ICAO, December 2018 https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_100519.pdf
- [13] ASD, Sustainable alternative fuel, available <https://www.asd-europe.org/sustainable-alternative-fuels>
- [14] Yilmaz, N.; Atmanli, A. Sustainable alternative fuels in aviation. *Energy* 2017, 140. Pp. 1378–1386.
- [15] Iyman Abrar–Ashok N. Bhaskarwar (2019): Chapter 19 - An overview of current trends and future scope for vegetable oil–based sustainable alternative fuels for compression ignition engines, Editor(s): Angelo Basile, Francesco Dalena, Second and Third Generation of Feedstocks. *Elsevier*, Pp. 531–556.
- [16] Zhang, C.–Hui, X.–Lin, Y.–Sung, C.J. (2016): Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 54. Pp. 120–138.
- [17] Logistika dnes, DB Schenker a Lufthansa spúšťajú CO₂ neutrálne lety, available <https://logistikadnes.sk/db-schenker-a-lufthansa-spustaju-co2-neutralne-lety/>
- [18] Slovnaft, letecký petrolej, available <https://slovnaft.sk/sk/cepcacie-stance/produkty/motorove-paliva/125-vyrobky/pohonne-hmoty/>
- [19] Logistika dnes, DB Schenker a Lufthansa spúšťajú CO₂ neutrálne lety, available <https://logistikadnes.sk/db-schenker-a-lufthansa-spustaju-co2-neutralne-lety/>

- [20] KLM sa naďalej zameriava na udržateľné palivo, 1.2.2021, available <<https://pitane.blue/sk/2021/02/01/klm-sa-na%C4%8Falej-zameriava-na-udr%C5%BEate%C4%BEn%C3%A9palivo/>>
- [21] European aviation proposes framework for net-zero CO₂ by 2050, Flight global, 11.2.2021, available <<https://www.flightglobal.com/strategy/european-aviation-proposes-framework-for-net-zero-co2-by-2050/142389.article>>
- [22] David Fessler, Is Hydrogen Fuel Cell Technology the Future of EVs? , 27.05.2020, available < <https://profitrends.com/energy-investing/electric-vehicles/is-hydrogen-fuel-cell-technology-the-future-of-evs/>>
- [23] KLM sa naďalej zameriava na udržateľné palivo, 1.2.2021, available <<https://pitane.blue/sk/2021/02/01/klm-sa-na%C4%8Falej-zameriava-naudr%C5%BEate%C4%BEn%C3%A9palivo/>>
- [24] Roland Berger–Robert Thomson, Electric flight just over the horizon, available <<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Global-Topics/Electric-Propulsion/>>

The Impact of Aircraft's Chassis Maintenance on The Health of Mechanics

Abstract: Aircraft maintenance has always been a significantly important area as it ultimately deals with the safety of all passengers and cargo traveling in the aircraft. Aircraft mechanics that handle such operations have always been in danger concerning their safety. This study concerns with the impact of maintenance workers in an aircraft chassis maintenance. The main aim of the study is to find out whether it has a positive or negative impact on mechanics. This paper summarizes the literature outline and evidence of the relationship between certain exposures important to the maintenance of the aircraft's chassis on the health of mechanics and the causes of this. This part of the studies consisted of relevant chemical components, individual company health danger reports, and limited case study notes documenting symptoms of exposure intoxication, which may have been a result of the database and search form that was used. This study will thus result ultimately in the safety of aircraft mechanics and the methods that have to be followed in order to do so. The overall study is a summarized overview of the data collected from the company Roder Component Service Center s.r.o Airport Košice Slovak Republik.

Keywords: Aircraft maintenance; technical procedures; mechanic health.

Introduction

The aircraft maintenance staff is the most important component of the aircraft renovation process. The fundamental part of the maintenance specialists is to classify and pass judgment on basic issues that can compromise the airworthiness of the airplane, and whenever discovered basic perform suitable upkeep so that the aircraft will be able to keep flying. Understanding how the human body and mind work, as well as how performance barriers

Technical University of Kosice,
Faculty of Aeronautics
E-mail: samer.abdo@tuke.sk

Technical University of Kosice,
Faculty of Aeronautics
E-mail: branislav.racka@tuke.sk

Technical University of Kosice,
Faculty of Aeronautics
E-mail: branislav.racka@tuke.sk

Technical University of Kosice,
Faculty of Aeronautics
E-mail: branislav.racka@tuke.sk

Budapest University of Technol-
ogy and Economics
E-mail: ukale@vrht.bme.hu

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

can affect a technician's ability to paint, is critical. Several elements can affect a protection of technician's performance. In this paper, the influences of stress on the high-quality of the work achieved by way of an aircraft upkeep staff are investigated. Some mechanical-related accidents are examined alongside the desired criteria in aviation maintenance legislation, whether this element is casual or contributory. Thus, the role of human factors in aircraft renovation has been attempted to be emphasized. It is anticipated that these human factors research and injuries will result in more research paintings on aviation safety. The aircraft protection technician is the most critical aspect of an aircraft's repair framework. [1], [2] The bodily and intellectual characteristics of a person's vision, hearing, statistics processing, attention and cognition, memory, judgment, and decision making are among the bodily and intellectual human overall performance characteristics that can influence the exceptional of his work. Time pressure, stress, responsibility, weakness, interruption, pomposity, absence of discussion and focus, and so on. May affect a technician's overall performance.

The scope of human variables is to include the order's relationship to other science and engineering disciplines. [2] Human factors are well known to play a role in aircraft maintenance accidents, and they may be causal factors. According to Gammopathy and Drury, conventional research and interventions in the area of human factors have focused on the errors of flight crews and air traffic controllers, but an increase in repair and inspection errors has prompted more human factors study and intervention. [3][4] The word „human factors” is only recently being used in the context of aircraft maintenance operations. Accidents as Aloha Airlines Flight 243 in 1988 and the BAC 1-11 windscreen mishap in June 1990 highlighted the need for human factors improvements in this area. [5] This is not to suggest that human factors or human error were not present prior to these dates did not trigger other incidents; it clearly indicates that it required explicit mishaps to bring these problems and planned arrangements to light. We've discovered that maintenance errors cause Maintenance failures cost the US industry more than 2 billion a year, according to 15% of air carrier accidents. “Human factors” coverages a huge scope of exercises, and they encroach on all that AMTs do at work, from discussing successfully with partners to guaranteeing that they have sufficient lighting that is precise and effective. [6], [7], [8]

The exposures that occur in the aircraft manufacturing industry have been Too many solvent mixtures, zinc chromate paints, and resins were included as a related area of interest in this research. According to the literature, some staff employed in the productions and repair of both commercial and military aircraft suffer from negative health impacts as a result of their employment. The key source of concern has been an increase in the number of cancer cases. [9] Several reports have looked into the mortality of employees in the aircraft manufacturing industry. Cancers of the oesophagus, pancreas, and bladder were observed in non-significant excesses in 14,067 subjects working between 1958 and 1982. Melanoma, mesothelioma, and central nervous system tumors were not present in abundance in the sample. Both some cancer sites

and malignant neoplasms showed major excesses in a Washington State surveillance sample of relative mortality by occupation (including several digestive organs, the haemato-lymphopoietic system, and melanomas) among aviation engineers from various firms, as well as Boeing officials, managers, and supervisors. A preliminary investigation of central nervous system neoplasms in Los Angeles County (another US state with a high concentration of aircraft manufacturing) found that aircraft manufacturing staff, mainly engineers, are at an elevated risk. [10], [11] A mortality cohort study in a north Italian aircraft factory showed no excess of either oesophageal cancer or central nervous system tumors, despite the authors' concerns that the study's 15-year follow-up duration was inadequate for cancers with long latency times. It was recently recorded Since 1960, a cohort study of 77,965 workers employed in a California aircraft productions factory has been conducted. There were no substantial changes in risk for any of the 40 particular causes of death inspected once more.

A study concludes that 18% of all reported fatal injuries happened during the years 2004–2005 were caused due to contact with objects mainly being instrumental equipment. It has been shown in as shown above. [12] One of the key issues posed in all of the studies was the staff' exposure to a large number of different solvent mixtures. Zinc chromate paints and chromium exposure were investigated in a group of employees at two military aircraft upkeep facilities that used zinc chromate paint for spray painting. [12] Painters were found to have a higher prevalence of respiratory tract cancers, cirrhosis of the liver, and cerebrovascular disease than the general population. Between 1952 and 1956, a team of reports looked at the all-cause mortality and malignant growth level of airplane maintenance staffs at Hill Air Force Base in Utah. This team has been experimenting with a number of solvents, including trichloroethylene.

The early study discovered substantial mortality excesses in women for non-lymphoma Hodgkin's and men for A follow-up analysis found no significant cancer or mortality excesses in the liver and biliary passages. More newly, there has been concern about employees who have been exposed to jet fuels. [13], [14], [15]

Another article addressed various aspects of a study that looked into the effect of exposure to JP-8 jet fuel, which is now used by the US Air Force, on the sperm of mechanics who serve on planes. Low levels of exposure to benzenes, one of JP-8's constituents, at levels as low as 6 parts per million, were found in a group of painters who were also exposed to solvent mixtures, were found to minimize sperm motility and increase the frequency of sister-chromatid exchanges.

Material and method

This section summarizes research performed in the aircraft production and repair industries around the globe and pointing out some important case studies and describing briefly the impacts, pros and cons and the measures taken to make a change in the existing scenario.

The methods and materials used in this study are to project the results of the mechanic's point of view and the data-driven from a basic questionnaire took among the workers of the company named Roder Component Service Center s.r.o Airport Kosice Slovak Republik. Where we made a couple of questions related to their work to get a conclusion regarding the total scenario and to find out the health and safety-related issues faced by the mechanics, following them is an overview of one of the processes taking place in an aircraft maintenance workshop where the workers are Re-assembling the tire assembly.

The study of the process involved in flight landing gear

Figure 1. Mechanic during maintenance performing.



Figure 1 shows the mechanic that performs visual inspection of the incoming brake. This action is used forklift for easier manipulation with the brake unit because of its weight. The mechanic can inspect the brake unit properly and he spares his spine. Since the equipment and the whole assembly is indeed rather heavy. The figure above shows importance of keeping company rules to avoid injuries during maintenance chassis component as brake and wheels. The mechanic must use strong ergonomic shoes, gloves, glasses, and good safety gear before handling such equipment. [16], [17]

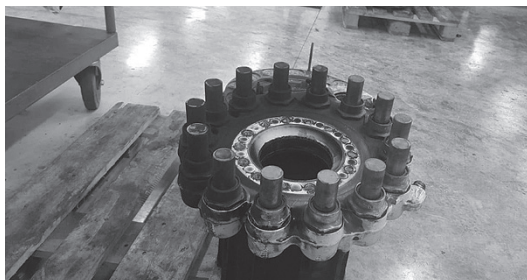
Figure 2. Processes maintenance of the parts of chassis aircraft.



During visual inspection the mechanic makes the decision if the brake should be repaired or overhauled. The first step of the disassembly is loosening of screws from the hydraulic crown, see Figure 2 above. The dismantled hydraulic crown is cleaned and inspected for leaking or any discrepancies according to the manual. all processes should be performed under the certain of safety, during the maintenance process, mechanics must have guards to prevent a sudden incident. responsible person inspects or mechanics comply with safety rules when maintaining individual parts of aircraft landing gear.

When the mechanic decides about the status that overhaul should be performed, the brake unit is completely disassembled and prepared for sandblasting. After that components go for non-destructive testing. Parts are divided according to related NDT action which should be performed on them, see Figure 3 below. Tanks with active coal for filtering water need for NDT. As was mentioned parts were blasted, it is very important to restore the finish coating in the painting room. Painter restores finish according to the service manual. all of the previous steps contain chemical substances which are have a big effect on mechanics' health.

Figure 3. Tanks with filter for water needed for NDT penetrant inspection.



Aircraft maintenance is the repair of something to restore functionality. It is an unplanned activity without a schedule and is usually associated with greater hazards and higher levels of risk. Aircraft chassis maintenance no specific domestic installers and mechanics. It is the responsibility of almost all workers in every sector and is performed in almost every work environment. During the Aircraft chassis maintenance process, the health and safety of workers may be affected, but this may also be due to a lack of or insufficient maintenance. The safety and health of maintenance workers are also significantly affected by the construction equipment and the working environ. [16]

Maintenance is one of the activities in the workplace that can affect not only employees who work directly on it involved, but also other employees, if safe working procedures are not followed and the work is not performed properly.

Maintenance activities can cause harm to employees and others in three main ways:

- Injury or injury may occur during maintenance - for example, employees repairing a machine can be injured, if the machine is accidentally switched on, if they are exposed to danger substances or if they have to work in the unnatural positions;
- poor maintenance quality, such as the use of incorrect parts when replaced or repaired, can result in seriousness accidents;
- insufficient maintenance can not only shorten service life equipment and also affect the health of workers, but it can also be the cause of accidents - for example, unrepaired damage to the floor in the warehouse can cause a forklift accident, injury to the driver, but also damage to property.

Results and discussions

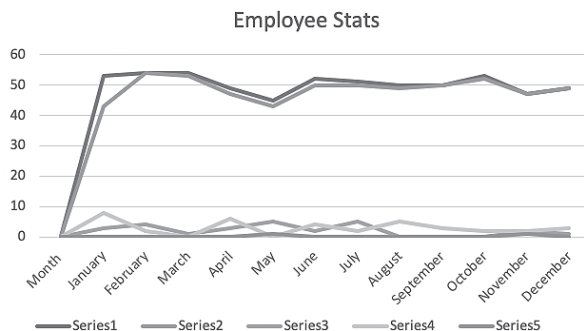
The result of the study is acquired from an industrial visit made in the company named Roder Component Service Center s.r.o. Airport Košice Slovak Republik. From the basic field notes and a questionnaire made for the workers regarding their basic routine, we concluded that a majority of the workers are aware of the risk involved in their work and future health problems related to the activities. The study shows the case study of the health and exposure of aircraft mechanics who are involved in the maintenance of the aircraft. The case studies show a wide range of examples of tests and experiments conducted on animals that have undergone the similar exposure to an aircraft mechanic. We have finished fundamental substance examinations dependent on the survey, and the example of results on those inquiries seem to help our assumption that the most difficult parts of being a lead technician, and the difficulties respondents were ready for such specialized issues as they have been all around prepared and trained by a mindful power. The arranged reactions to the inquiries, „What is the most difficult aspect of your responsibilities?” „What

parts of your work do you believe you were least ready for?”, and „What are the main abilities you should be compelling in your present position?”, The reactions of the lead mechanics to this strategy of solicitations all the specialists are appropriately engaged and absolutely mindful of the chance of their work and the threats. As our data and our recounted encounters have shown us, the specialized capability is essential yet not adequate for powerful administration. Our findings, at last, will be taken care of once more into the preparation educational plan for new lead mechanics and will empower us to build up a more refined arrangement of instruments for distinguishing and getting ready promising contenders for lead repairman positions right off the bat in their professions.

Table 1. Modeling data table

Month	Attendance of mechanics (n:54)	Safety check (n:54)	Hours of wakefulness	Accidents reported due to high workload	Accidents reported due to lack of safety measures
January	53	43	3	8	0
February	54	54	4	2	0
March	54	53	1	0	0
April	49	47	3	6	0
May	45	43	5	0	1
June	52	50	2	4	0
July	51	50	5	2	0
August	50	49	0	5	0
September	50	50	0	3	0
October	53	52	0	2	0
November	47	47	2	2	1
December	49	49	1	3	0

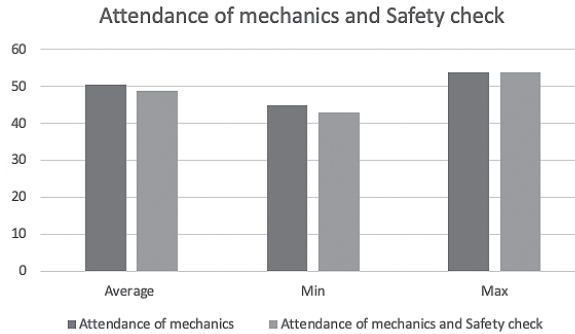
Figure 4. Annual employee statistics.



Series1 represents the Attendance of mechanics, while series 2 represents the mandatory Safety check conducted in the workplace, Series3 represents the Hours of wakefulness, Series 4 represents the accidents reported due to high work load and finally the series 5 represents accidents reported due to lack of safety measures.

From the above table mentioning “Annual employee statistics” we have made a graph stating all attributes which we have taken into consideration to compare the relation between each of them to find the performance of the company and to know the exact position of the company based on following safety measures and making their workers to follow them up. As we know safety is an important term when it comes to work in which more human forces are involved. It is necessary for the company to monitor its safety measures to avoid further future accidents. AS we know aircraft maintenance work is a risk involved activity even life loss can occur even caused by a small error. From Figure 4., above we can understand the attendance and the safety going together along throughout the year, it is clear that the company is having a safety check almost all the working days throughout the year and the company is tracking the record of the workers not following safety checks. The other related attributes are wakefulness, accidents reported due to the high workload and accidents reported due to lack of safety measures. All these attributes are human-related issues and the rate of these factors reported very less in the company and the company trying its maximum to keep these rates at the minimum.

Figure 5. Relationship between attendance rate of the mechanics and routine safety check.



As we can see from the above *Figure 5* the company has followed up the safety measure to keep up the safety and discipline within the working environment and was completely well prepared for the uncertain risky events that can happen naturally. as we can say safety inspections are done more often irrespective of the attendance or any kind of events.

Figure 6. Relation between the Attendance and accident Due to human factor Error.

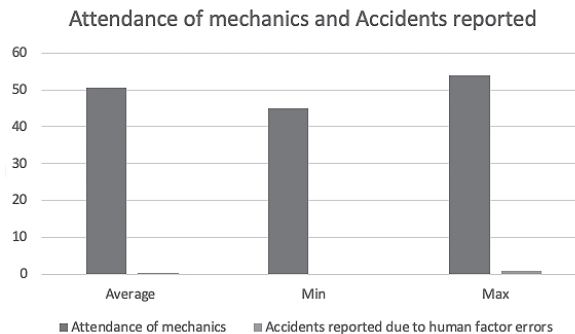


Figure 6 above represents the relation between accidents reported and the employee strengths. But according to the data, there was a slight rise in the rate of accidents reported when the whole plant was on full strength. Even though it's a slight setback for the firm, it is a lower value when compared with other related industries with the range. The company is taking so much effort to minimize the errors and accidents and protecting its employees under any circumstances.

Figure 7. Relation between the Attendance and accident Due to human factor Error.

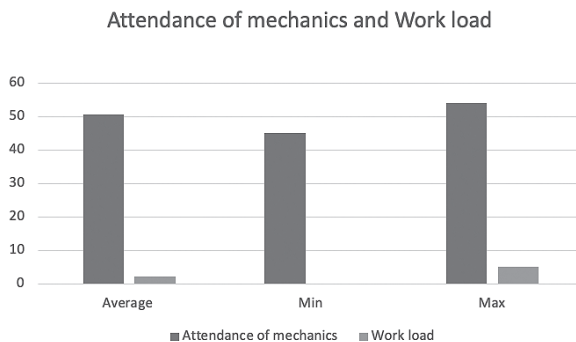


Figure 7 above describes the relationship between workload and the employees. In certain months the company faces immense workload activity and less mechanics to distribute the work and faces less productivity and leaving pending works carried forwarded to the next consecutive month. Even accidents happen uncertainly due to the lack of labour on some activities with involve prescribes number of labour to accomplish the work. According to the data some incidents are reported and the company solved the is-sue and tracking these errors to avoid in the future by providing better working schedules to the employee and always tracking the attendance and the workload.

Figure 8. Relationship between wakefulness and mechanics.

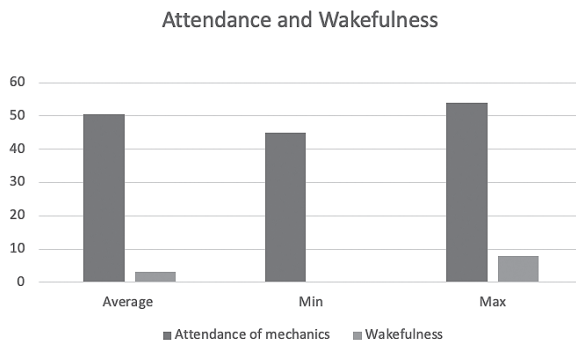


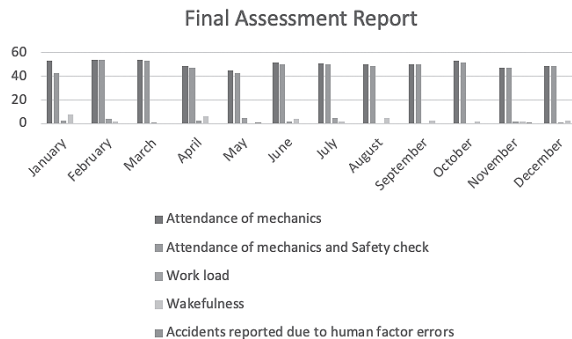
Figure 8 above represents the relation between wakefulness and the employees/ mechanics. Wakefulness usually refers to sleeplessness, fatigue, stress, anxiety, depression. It is usually referred to as a state of mind where the person feels wakefulness or being alert. The data shows that there is a slight increase in the rate of

DISCUSSION

We now explore the relationship between safety and organizational culture, in accordance with our theoretical framework. The majority of workers in the investigated company thought the safety requirements were adequate. However, the evaluation of safety standards is not the main aim of this paper. We aimed to search for the changing meanings of safety concerning organizational culture. All the more explicitly, we contemplated the inward surface of the security culture regarding discontinuity, coordination, and separation. An aircraft maintenance organization was the subject of our case study. We concentrated on the process aspect of organizational growth. Previous research into safety cultures found that various types of safety cultures exist both within and between organizations. Here we are showing a model of maintenance resource management (MRM) model. [17], [18]

Here we will discuss the progress of the mechanics who are exposed to various kinds of hazardous chemicals and a disturbed environment. So, based on the following data below we will compare and evaluate the results of our study.

Figure 9. The final evaluation report.



From *Figure 9* we can come into a conclusion that throughout the year the company was performing at its maximum and was following up its safety measures to avoid uncertain accidents and uplifting and guiding the mechanics to follow up the safety measures and teaching them the importance of safety while working in hazardous environment and risk involved in it. Throughout the year it was reported very less amount of accidents and other serious related issues faced by mechanics. Throughout the year the company was constantly monitoring the workers' safety and other parameters which are considered in order to eliminate the risk factors that can occur at any time including a huge cost that can alter the performance of the company as per the above figure it is well cleared that the company was doing preventive measures to keep the accidents low and minor level. We can see the rate of wakefulness and workload has reduced as fact that the employer considered the facts and grievances of the mechanics. Regular safety checking was initiated from the beginning of the year and that was monitored accordingly. As a result, the rate of accidents was acute, and the performances and morale of the workers stayed legit.

Conclusion

From the studies performed at the company Roder Component Service Center s.r.o Airport Košice Slovak Republic, we found out on the basis of a questionnaire aimed at the company's employees, that the company's priority is to follow safety instructions when maintaining aircraft landing gear and especially individual parts such as brakes and others. In addition, the mechanics work on aircraft maintenance, the company performs regular health checks as well as daily inspections at the workplace, or the mechanics follow the rules that increase their safety at work. The aim of the presented study is to get acquainted with Sudden injuries, they arise as a result of the influence of some factors on the health of the company's mechanics.

Not only should we think and plan for safety while performing the job at hand but consider that performing a task improperly can have a serious impact on the aircraft's reliability. A fully functioning and focused maintenance team ensures aircraft get serviced the right way. Lives depend on what maintenance technicians do, which means they need the proper tools, equipment, and a bulletproof maintenance plan.

Throughout the study, we saw the relation between various factors and mechanics in aircraft chassis maintenance parts. As the company uplifting its safety measures to avoid further mistakes and accidents and trying to eliminate further errors in the future and following up safety checking among the workers to have a track record of it to monitor the performance of the employees. Conclusion the safety of mechanics has proved to be important. Many tests and scientific research have been conducted to ensure this. The organization has done so promisingly. Hence the future of safe mechanics looks to be bright in this firm according to my observations and assumptions.

Funding: This research was funded by the EFOP-3.6.1-16-2016-00003 project. The project is co-financed by the European Union.

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

References

- [1] Allen, J. P. Jr. (2001): *Safety Management Systems for Maintenance Organizations: A U.S. Air Carrier Perspective*. Retrieved from http://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/library/documents/media/human_factors_maintenance/safety_management_systems_for_maintenance_organizations.a_u.s._air.carrier_perspective.pdf,
- [2] Scott Johnson (2007): Statistical Analysis of Human Factors in Aviation, Comprehensive Examination Scott Johnson Cox-Fuenzalida, L. Effect of Workload History on Task Performance. *Hum Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 49. (2.) P. 277.
- [3] Griffith, C. D.–Mahadevan, S. (2011): Inclusion of fatigue effects in human reliability analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 96. (11.) Pp. 1437-1447.
- [4] M Varaprasada Rao, MSRK Chaitanya, Vidhu KP. Aircraft Servicing, Manteca, *Reppaire& Overhaul The changed Scenarios Through outsourcing*. 7. (5) Pp. 249–270. (May-2017).
- [5] Varaprasada Rao M.– Dr. Rambabu, G. (2014): “Sustainable Cost Reduction Strategies in Supply Chain Management in Aircraft Servicing in Indian Aircraft Industry” Second International Conference on Advances in Industrial Engineering Applications, ICAIEA 2014, Chennai: Anna University.
- [6] Hibit, R.–Marx, D. A. (1994): Reducing human error in aircraft maintenance operations with the maintenance error decision aid (MEDA). *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 38. (1.) Pp. 111-114.
- [7] Becky L. Hooey (2019): A sampling of reports from aircraft maintenance personnel. Becky L. Hooey , Director NASA Aviation Safety Reporting System. January 31.
- [8] Serkan ALTUNTAŞ–Türkay DERELİ –Cengiz ÖZŞALAP: Kalite fonksiyonu göçerimi (KFG) ile askeri havacılıktaki bakım faaliyetleri için yeni ürün tasarımı, 34. (4) Pp. 2187–2202.
- [9] Hobbs, A.–Williamson, A. (2002): Unsafe acts and unsafe outcomes in aircraft maintenance. *Ergonomics*, 45. (12.) Pp. 866–882.
- [10] M. Varaprasada Rao–Vidhu Kampurath P.–K. Ananda Rao,–MSRK Chaitanya: “Advances In Ergonomic Aircraft Design With Special Reference To Indian Aircraft Industries”. *International Journal of Engineering–Scientific Research*, Publisher - International Journals of Multidisciplinary Research Academy.
- [11] Kapoor, K.–Dharwada, P.–Iyengar, N.–Greenstein, J. S.–Gramopadhye, A. K. (2004): A Strategy for the Development of a Web-Based Tool to Reduce Aviation Maintenance Errors. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48. (1.) 199–202.
- [12] Mracek, D. L.–Arsenault, M. L.–Day, E. A.–Hardy, J. H.–Terry, R. A. (2014): A Multilevel Approach to Relating Subjective Workload to Performance After Shifts in Task Demand. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56. (8.)

- [13] Xavier, A. J. (2005): *Managing human factors in aircraft maintenance through a performance excellence framework (Unpublished master's thesis, 2005)*. Embry-Riddle Aeronautical University. Retrieved from [http://www.system-safety.com/articles/xavier thesis.pdf](http://www.system-safety.com/articles/xavier%20thesis.pdf),
- [14] Embry-Riddle Aeronautical University ASCI 691 Graduate Capstone, Submitted to the Worldwide Campus in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Aeronautics. [Online]: < <https://erau.edu/de-grees/master/aeronautics> > July 18. (2016).
- [15] Becky L. Hooey (2019): A sampling of reports from aircraft maintenance personnel. Becky L. Hooey, Director NASA Aviation Safety Reporting System. January 31.
- [16] Melih Yildiz (2021): Electric Energy Use in Aviation, Perspective and Applications. *Journal Politeknik Dergisi*. P. 1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.852272>,
- [17] Becky Hooey (2019): NASA Aviation Safety Reporting System. ICASS 2019. NASA Ames Research Center, Moffett Field, California, USA November 18–22.
- [18] Adams, C.: Maintenance outsourcing safety debate. *Aviation Today. Journal of Aviation Technology and Engineering*. 1. (2.) Article 4. Available at: <https://doi>.

Design of PEIS: A Low-Cost Pipe Inspector Robot

Abstract: This paper outlines the design of a novel mechatronic system for semi-automatic in-spection and white-water in-pipe obstruction removals without the need for destructive methods or specialized manpower. The device is characterized by a lightweight structure and high trans-portability. It is composed by a front, a rear and a central module that realize the worm-like lo-comotion of the robot with a specifically designed driving mechanism for the straight motion of the robot along the pipeline. The proposed mechatronic system is easily adaptable to pipes of various sizes. Each module is equipped with a motor that actuates three slider-crank-based mechanisms. The central module incorporates a length-varying mechanism that allows forward and backward locomotion. The device is equipped with specific low-cost sensors that allow an operator to monitor the device and locate an obstruction in real time. The movement of the device can be automatic or controlled manually by using a specific user-friendly control board and a laptop. Preliminary laboratory tests are reported to demonstrate the engineering feasibility and effectiveness of the proposed design, which is currently under patenting.

Keywords: Pipe inspection; robot; detection.

* *University of Calabria, Department of Mechanical, Energy, and Management Engineering*
E-mail: giuseppe.carbone@unical.it

** *University of Dunaiújváros, Department of Control Engineering and Information Technology*
E-mail: podry@uniduna.hu

Introduction

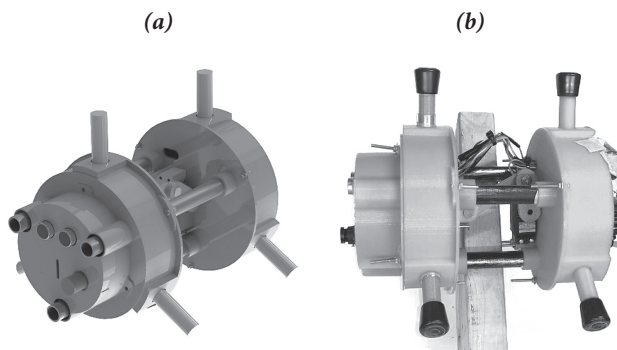
In the last decade, we have been experiencing a growing demand for robotic systems aimed at assisting and collaborating with humans toward unsafe or difficult tasks, widening a great market potential for service robotics applications as reported, for example, in [1]. In-pipe robots are one of the emerging areas of practical service applications where a robot can explore a pipe from the inside to perform various inspections and maintenance tasks.

Pipeline grids of various sizes and materials are pervasive in today's modern society and they require frequent inspection and maintenance, setting very challenging engineering tasks. Obstructions in pipes are sometimes spotted by the insertion of probes equipped with cameras or even manually in poor areas but is most often avoided because of the costs needed for the operation; long sections of pipes are replaced straight away. Buried white-water pipe infrastructures are regularly in need of maintenance, the cost of which may be significantly reduced by more precisely locating faults by means of in-pipe robots as reported, for example, in [2]. Several approaches and prototypes have been proposed, such as those based on wheeled locomotion [3], crawler locomotion [4], caterpillar locomotion [5], wall-press locomotion [6], walking locomotion [7], inchworm locomotion [8], screw locomotion [9], and spiral locomotion [10]. Each design solution has some merits and drawbacks that make each preferable for specific applications. Among the existing solutions, particularly interesting is the worm-like locomotion as reported, for example, by [11–13]; other locomotion strategies can be based on hybrid solutions and combinations of locomotion principles, such as that in [14,15,16].

This work presents the mechanical, electrical and control design of PEIS (PipE Inspector System). This is a low-cost pipe inspector robot, which introduces a novel, low-cost locomotion mechanism that has been designed and built by the authors at University of Calabria as shown in *Figure 1*. The proposed locomotion mechanisms allow to easily adapt the device to pipelines of various sizes with horizontal-, inclined-, or even vertical-motion directions.

The paper is organized as follows: Section 2 outlines the mechanical design of the proposed PEIS device with focus on the modeling and synthesis of the locomotion mechanism. Section 3 focuses on a dynamic analysis and simulation of PEIS to size the main components, including the mechanical parts, joints, and actuators, with proper performance to fulfil the desired task requirements. Section 4 focuses on the robot controller to achieve a suitable and stable operation of PEIS. Section 5 outlines the selection of proper, low-cost sensory components and details the electronics and control hardware set-up. Section 6 reports some preliminary experimental results to demonstrate the engineering feasibility and effectiveness of the proposed design that is currently under patenting.

Figure 1. The proposed PEIS design: (a) 3D CAD model; (b) built prototype of PEIS at DIMEG, University of Calabria.



Mechanical Design

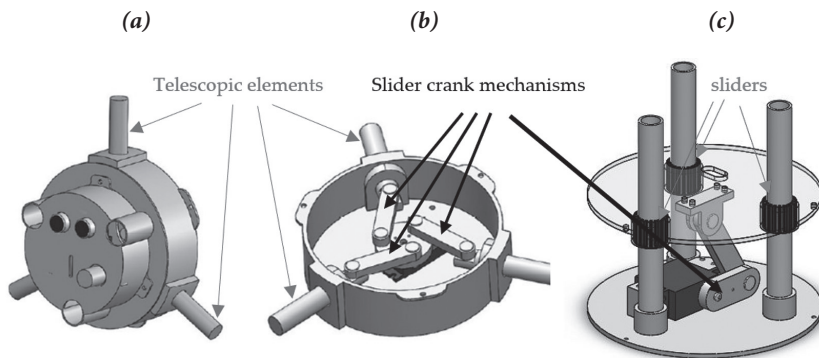
White-water pipelines are particularly subjected to occlusions caused by debris from various sources. They are usually designed using straight pipes of 200 mm to 600 mm in diameter, spaced out by 500×500 mm square inspector manholes. This kind of pipe-system design simplifies the proposed solution from a mechanical point of view, and it leads to a cost reduction that is a key factor for the proposed mechatronic device. The target groups of the device are, indeed, small businesses and local administrations. The mechatronic system should be easy to use to avoid the employment of highly specialized manpower. Another important feature needed is the capability to explore sloped pipes and to adapt to different pipe diameters. After a careful analysis of the literature and the specifically addressed application task, we have identified the following main design requirements:

- Suitable for pipelines with a diameter ranging from 200 to 600 mm.
- Device length lower than 400 mm (for easy fitting into the 500×500 mm manholes).
- Power supply lower than 60 W (for autonomous driving and power autonomy).
- Weight lower than 3 kg (for transportability and for avoiding damages to the pipeline).
- Holding force ranging from 20 to 30 N (to avoid slippage and for avoiding damages to the pipeline).
- Move along a straight pipeline (since white-water pipelines are equipped with inspection manholes at any direction change).
- Speed not lower than 5 cm/s (for timely execution of tasks).

As additional requirements, the device should be user friendly and not require specific professional skills for a semi-automatic operation.

The design process is based on multiple, creative-tactic strategies, including morphological charts to help the topology synthesis, which led to a topology with three modules. Namely, the front module and the back module are the “grasping modules”, being able to hold the robot body relative to the pipe walls. A schematic view of the front module is reported in Figure 2a. This module hosts most of the sensors and electronic components. The front and back module are equipped with telescopic elements that are driven by a specifically designed mechanism. This is schematically outlined in Figure 2b. Each grasping module is based on a crank-shaft mechanism with three interchangeable pistons of various lengths and a single circular crank actuated by a servomotor. The rotation of the slider-crank mechanisms produces the extension of the telescopic elements, which hold firmly a module attached to the pipeline surface. The front or back module are actuated alternatively so that one of them is attached to the pipeline surface and the other one is free to move. The central body module embeds a crank-shaft mechanism actuated by a servomotor that makes the length of the robot vary, thus allowing it to move in a worm-like manner. The locomotion module is based, again, on a slider-crank mechanism that displaces the front module relative to the back module as shown in Figure 2c. Accordingly, the locomotion strategy consists of locking one of the front or back modules and allowing the locomotion module to displace forward or backward the other module. The following sections outline the main aspects of the proposed mechanism design as based on the outlined conceptual design.

Figure 2. Details of the proposed PEIS design: (a) the front module; (b) the pipeline grasping module based on three slider-crank mechanisms, actuating the telescopic elements by using one motor; (c) the central body driving module based on one slider-crank mechanism and three sliders.



GRASPING MODULES

Two different configurations were studied. Namely, horizontal locomotion and vertical locomotion. One module at a time is considered, clamped to the wall of the pipe, and a Coulomb static friction coefficient of 0.4 (rubber and wet concrete) is supposed. The worst-case scenario is considered when the friction force is holding the robot as provided by a single piston. This case is outlined in the scheme in *Figure 3*. A 7 N force by a single piston is sufficient to prevent the robot from sliding, based on its own weight (over-estimated as equal to 1 kg), using a safety factor of two. Given the free body diagrams in *Figure 4*, it is possible to write the relationship between the force exerted by the piston F_x and the input servomotor torque τ from the equilibrium equation that can be written as

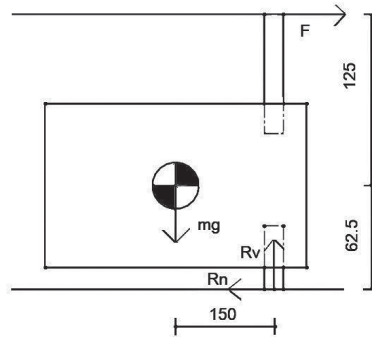
$$F_x = \frac{\tau \cos \alpha}{3 l_m \cos \theta} = \frac{\tau}{3 l_m} \sqrt{\frac{1 - \frac{c^2}{l_m^2} \left[1 - \left(\frac{c^2 - l_m^2 - l_b^2}{2 l_m l_b} \right)^2 \right]}{1 - \left(\frac{c^2 - l_m^2 - l_b^2}{2 l_m l_b} \right)^2}} \quad (1)$$

The friction force can be assumed as equal to $F_s = \mu F_x$ (2) where l_m is the crank length, l_b the conrod length, c the length between the piston and the crank base and θ the angle between F_{ba} and perpendicular to the crank. The dimensional synthesis of the mechanism consists of identifying the values of l_m , l_b , so that the mechanism can exert the desired force F_x while minimizing the ratio expressed in

$$S = \frac{c}{l_m + l_b} \quad (3)$$

where S expresses how close a configuration is relative to the kinematic singularity of the slider-crank mechanism. A value too close to the singularity can generate stability problems while a value too far from the singularity will result in a less compact design. It is also worth noting that an additional grasping tool could be added at the front module as proposed, for example, in [17–19].

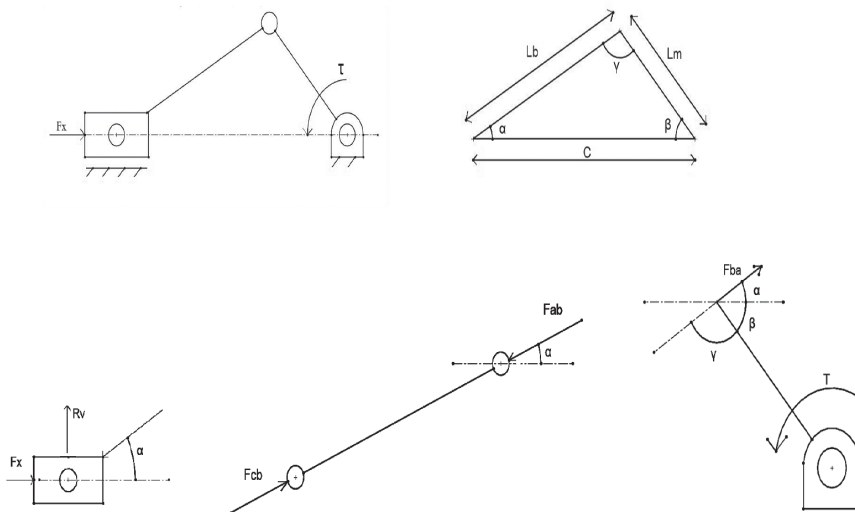
Figure 3. A free body diagram for static analysis in the horizontal plane.



LOCOMOTION MODULE

The proposed device moves along the pipeline by holding the pipeline wall with its front or rear module through their telescopic elements (*Figure 2*). The worm-like locomotion is achieved by activation of the front and rear module, alternately. Then, the central module displaces the free module relative to the one holding the pipeline wall. Reversing the order of activation of the front and rear modules allows to reverse the motion direction. These locomotion steps are repeated cyclically until an obstruction is found or until the operator decides to stop the device. The selected driving mechanism is based on a slider-crank, whose size synthesis is performed based on the desired motion speed and the expected loading conditions defined in the design specifications.

Figure 4. Geometry and free body diagrams of a single slider-crank mechanism in the grasping module.



Dynamic Analysis

A simplified model was developed for estimating the dynamic effects. The masses and moments of inertia of the main components have been obtained from the 3D CAD model of the device. These terms are used to implement a Euler–Lagrange set of equations of motion that are solved in a Matlab environment. We assume the slider-crank mechanisms as planar mechanisms; also, we assume homogeneous materials, rigid parts, perfect constraints, and a safety factor equal to two to take into account the neglected aspects.

HORIZONTAL MOTION

The Euler–Lagrange equation (Equation (4)) is written by considering the 1 DOF slider-crank mechanism, whose scheme is shown in Figure 5, in the following form:

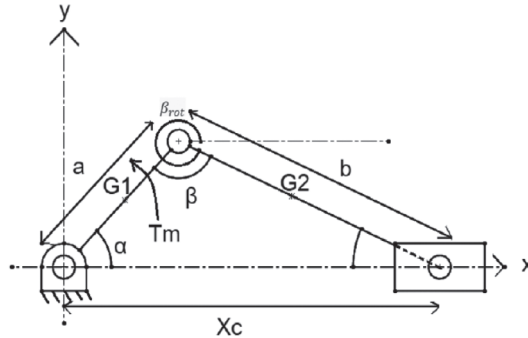
$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} - \frac{\partial L}{\partial \alpha} = \tau_m \quad (4)$$

where $\dot{\alpha}$ is the time derivative of α depicted in Figure 4, τ_m is the servo couple and L is the “Lagrangian” defined as the difference between the sum of the kinetic energy and the sum of the potential energy of the member in Equation (5).

$$\begin{aligned} L &= \sum E_c - \sum E_p = \\ &= \frac{1}{2} \left[m_1 V_{G_1}^2 + I_1 \dot{\alpha}^2 + m_2 V_{G_2}^2 + I_2 \dot{\beta}_{\text{rot}}^2 + m_p V_c^2 \right] - m_1 g G_{1y} - m_2 g G_{2y} \end{aligned} \quad (5)$$

where m_i , V_{G_i} , I_i are the i^{th} member mass, center of gravity velocity and moment of inertia, respectively. G_{1y} and G_{2y} are the y coordinates of the crank and the rod, respectively; V_c and m_p are the front module velocity and mass; $\dot{\alpha}$ and $\dot{\beta}_{\text{rot}}$ are angles time derivative; and g is the gravitational acceleration, referring to the scheme in Figure 5.

Figure 5. A scheme of the slider-crank mechanism for driving the central module.

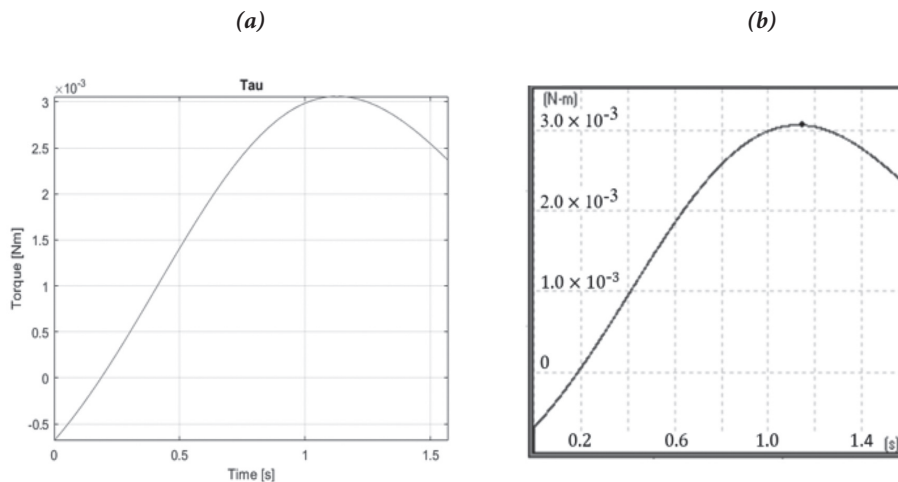


Geometrical considerations and the substitution of previous terms lead to the motion equation in the following form:

$$f[\ddot{\alpha}(t), \dot{\alpha}(t), \alpha(t), t] = \tau_m(t) \quad (6)$$

A constant rotational speed is imposed in order to check the capability of the servomotors to make the device advance and to make an estimate of the maximum motor torque needed during the operation after the transient phase. This leads to the results shown in *Figure 6*, which are compared with similar results that were obtained by a simulation in the Working Model multibody simulation software with the same input data. The maximum required absolute torque can be estimated from *Figure 6* as about 0.003 Nm.

Figure 6. Simulation results for motor sizing during a horizontal motion: (a) Simulated torque in a Matlab environment; (b) simulated torque in the Working Model environment from 0 to 1.5 s.



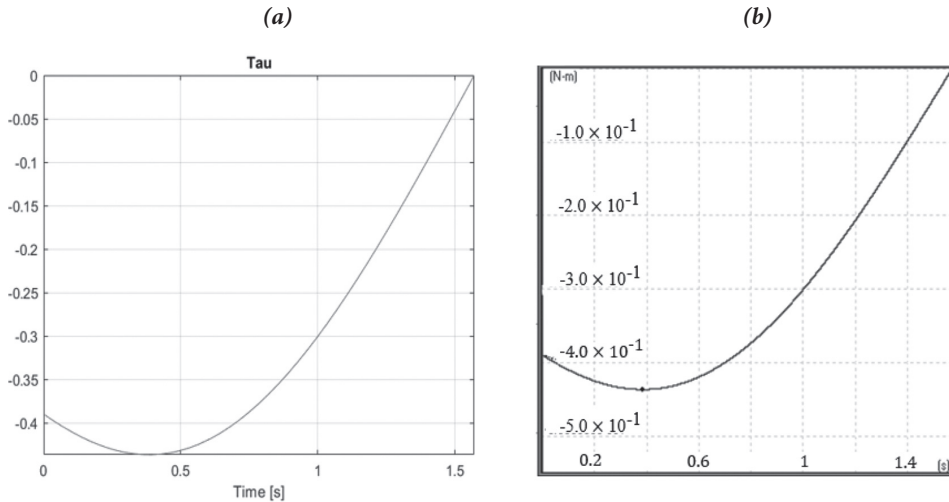
VERTICAL MOTION

This case is addressed again by developing a proper formulation as based on the Euler–Lagrange approach. The main difference is given by the presence of the potential energy of the piston that can be computed as follows:

$$\begin{aligned} L &= \sum E_c - \sum E_p = \\ &= \frac{1}{2} \left[m_1 V_{G_1}^2 + I_1 \dot{\alpha}^2 + m_2 V_{G_2}^2 + I_2 \dot{\beta}_{\text{rot}}^2 + m_p V_c^2 \right] \quad (7) \\ &\quad - m_1 g G_{1x} - m_2 g G_{2x} - m_p g x_c \end{aligned}$$

where G_{1x} and G_{2x} are the x coordinates of the crank and of the rod, while the other terms have the same formulation as reported in Equation (5). The required can be obtained by referring to the plot in Figure 7 as having a maximum absolute value of about 0.45 Nm.

Figure 7. Simulation results for motor sizing during a vertical motion: (a) simulated torque in a Matlab environment; (b) simulated torque in the Working Model environment from 0 to 1.5 s.



Control Synthesis

The motion of the system can be described with the state space representation as follows. The linearization of *Equation (6)* $\ddot{\alpha}(t) = f'(t, \alpha(t), \dot{\alpha}(t), \tau_m(t))$ with $x = (\alpha, \dot{\alpha})^T$ state vector and $u = \tau_m$ input of the physical system around the equilibrium $(\pi/2, 0, 0)$ results in the following:

$$\dot{x} = \frac{\partial f'}{\partial x} x(t) + \frac{\partial f'}{\partial u} u(t), \quad (8)$$

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

where $y=Cx$ and, moreover, A and B are the state and input matrices, respectively. It is assumed, that the output of the system is fully measurable, therefore $y=[1 \ 0]x=\alpha$. Based on *Equation (6)*, the matrices A and B are given as follows.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1.9871 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 840.3253 \end{bmatrix} \quad (9)$$

The evaluation of the controllability matrix results is $M_c=[B \ AB]$, where $\text{rank } M_c=2$. Based on the Kalman rank condition for controllability, the system described with *Equation (8)* is controllable since $\dim x=2$. As a result, a linear quadratic regulator (LQR) is proposed for the stabilization of the system, using the controllable system (A,B) . The LQR algorithm establishes a cost function $J(x,u)$ for the obtainment of optimal state-feedback gain K . This feedback gain minimizes the following cost function, thereby providing both good system response and feasible control action:

$$J(x, u) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k) + \frac{1}{2} x_N^T Q x_N, \quad (10)$$

where $Q = Q^T \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$, $Q \geq 0$ and $R \in \mathbb{R}$, $R > 0$ are the weights in *Equation (10)*, which determine the dynamics of asymptotic stability related to the control signal $u_k = -Kx_k$ in the k th epoch. The feedback matrix is calculated as $K=(R+B^T PB)^{-1} B^T PA$, where $P=P^T \geq 0$ denotes the solution of the Control

Algebraic Riccati equation. To ensure the reference tracking as well, the N_x and N_u matrices are employed as follows:

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_u \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0_2 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

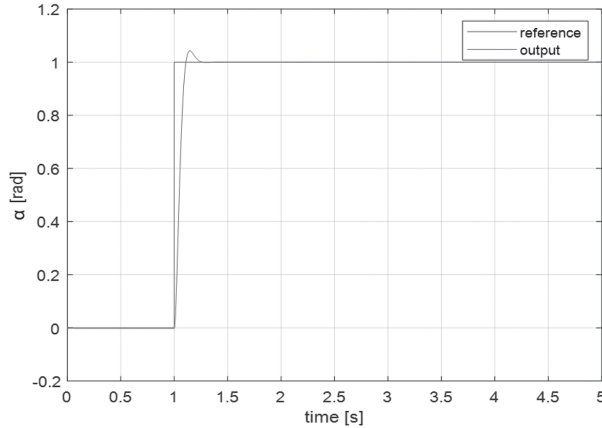
As a result, the control signal is obtained $u = -Kx + (N_u + KN_x)r$, where r is the reference signal, while the matrices are given as follows:

$$Q = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad R = 50 \quad (12)$$

$$K = [1.1110 \quad 0.0514], \quad N_x = [1 \ 0], \quad N_u = -0.0024$$

Based on *Equations (9) and (12)*, the corresponding step response of the closed loop system is plotted in the following *Figures 8 and 9*. The simulation results show that the implemented LQR strategy stabilizes the system around the reference signal.

Figure 8. Reference tracking performance in terms of α versus time.



A similar analysis can be conducted for the vertical motion. Based on *Equation (7)*, the linearization of the equations of motion is obtained, then the state and input matrices are derived as follows:

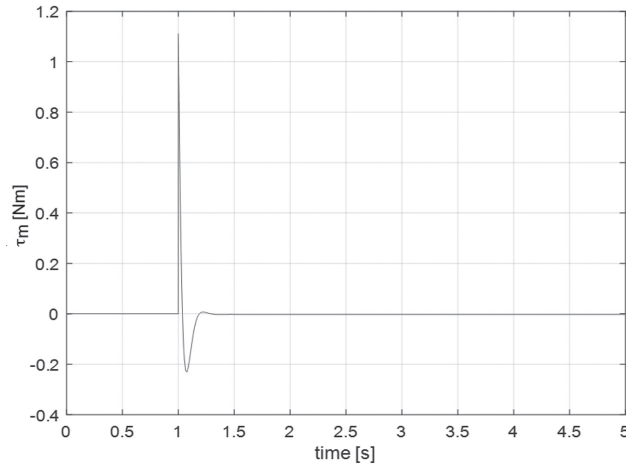
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 187.6978 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 840.3253 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Then, the state feedback and reference tracking matrices are calculated based on *Equations (10) and (11)*, which are given as follows.

$$\mathbf{K} = [1.3238 \quad 0.0552], \quad \mathbf{N}_x = [1 \quad 0], \quad N_u = -0.2234 \quad (14)$$

The aforementioned results enable the definition of the control signal $u = -\mathbf{K}\mathbf{x} + (\mathbf{N}_u + \mathbf{K}\mathbf{N}_x) r$, which ensures asymptotic stability.

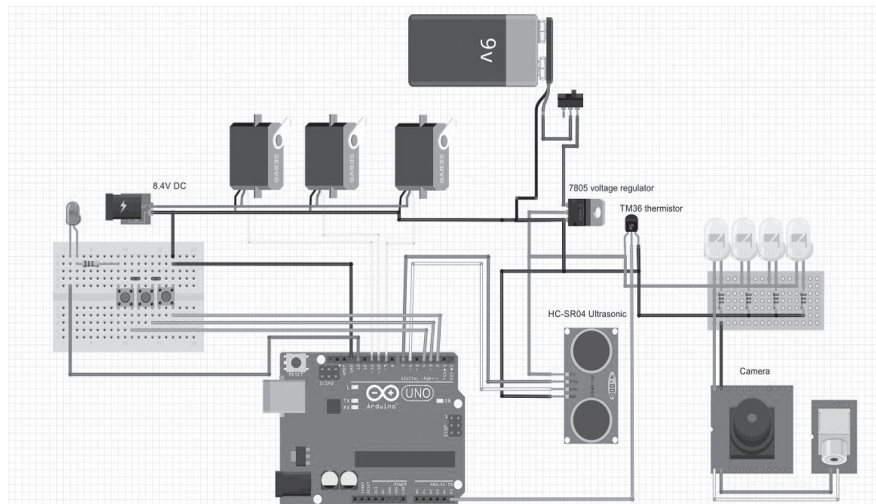
Figure 9. Reference tracking performance in terms of motor torque versus time.



Sensors and Electronics

The robot is equipped with multiple sensors because it needs to obtain various information from the outside world. The sensors are powered by a battery located in the rear module and the motors are powered by an external, cabled power source. An alert LED and manual command buttons are located on a board that remains outside of the pipe during the operations. The electrical scheme is presented in Figure 10. This control architecture can allow user-friendly operation in which an operator places the device at the beginning of a pipeline. Then, a latch switch turns on the device, including the LED lighting and all sensory feedbacks, which are streamed on the screen of a laptop and stored for further analyses. A second latch switch selects the operation direction (forward or backward). The device automatically stops when it reaches an obstruction while streaming a camera view to inspect the characteristics of an obstruction. Furthermore, the sensory feedback allows to identify the position of the obstruction relative to the initial position of the robot at the pipeline entrance.

Figure 10. A scheme of the electrical wiring.



PROXIMITY SENSOR

An essential feature of the device is being able to detect the occlusion. This is achieved using a proximity sensor located on the front module. The HC-SR04 sensor (Robot Italy, Rome) used is an ultrasonic one: the sensor is very well suited for the purpose since it is cheap, simple and works in a dark environment.

TEMPERATURE SENSOR

The temperature sensor is a tmp36 (Robot Italy, Rome) and is used to obtain the in-pipe temperature. This information is used to correct the proximity sensor measurement because sound speed depends on the temperature of the medium. It is located at the front module.

CAMERA

The camera and the lights mounted on the front module allow to see a live feed of the inside of the tube, thus allowing an operator to evaluate the nature of the obstruction present and check for potential damages of the pipe.

The logic implemented realizes the autonomous motion of the robot by controlling, in the right order, the positions of the servos. The control loop also checks for the presence of obstacle after each step and listen to possible user inputs. If an input is detected, the control is overridden and the user can move the robot forward or backward, while it continues to automatically grasp the pipe. If no input is received, the robot memorizes the number of steps to estimate the distance of the obstacle and allows an autonomous backward motion to bring itself to the entrance of the pipe. Details of the built prototype are reported in *Figure 11*.

INERTIAL MEASUREMENT UNIT

The electronics can be extended with an inertial measurement unit (IMU) code MPU-9250 (Robot Italy, Rome) to capture vibrations and parasitic accelerations and localize disturbances. The IMU is an extension that provides additional information of the state of the system with the accelerometer, gyroscope, and magnetometer sensors. The magnetometer can be used to identify and localize magnetic disturbances during the motion of the system. Additionally, the accelerometer and gyroscope signals can be incorporated

in a state-of-the-art filter algorithm to monitor the instantaneous orientation of the system. This orientation filter is characterized by core parameters that determine the state estimation convergence; therefore, the filter parameters should be carefully chosen to ensure accurate state measurements. An efficient approach to evaluate the filter performance and to tune the filter parameters is proposed in [20].

Preliminary Tests

The preliminary tests were carried out by using a 3D-printed proof-of-concept prototype as proposed in [21]. The experimental tests consisted of the following steps:

Place the device at the beginning of a pipeline.

Turn on the device with a latch switch. This activates the device including all sensory feedbacks that are streamed on the screen of a laptop and stored for further analyses.

Turn on the latch switch, selecting the semiautomatic forward motion. The device automatically stops when it reaches an obstruction while streaming a camera view to inspect the characteristics of the obstruction.

Upon reaching an obstruction, the operator can visually inspect the obstruction by using video streaming. Furthermore, the sensory feedback allows to identify the position of the obstruction relative to the initial position of the robot at the pipeline entrance.

Turn on the latch switch, selecting the semiautomatic backward motion. The device automatically stops when it is back at the initial position.

The same operation strategy was implemented for several tests. In particular, the PEIS prototype was able to advance in pipelines that were horizontal, but also in a sloped pipeline and even in a vertical pipeline as shown in Figures 11 and 12. The locomotion principle was very effective in all operation conditions with a simple operation and no grip loss. Various obstructions were successfully detected, and the LED light, placed on the front module, allowed for seeing clearly through the camera. The drive current and servomotor position/velocity feedback were monitored during operation. All the obtained readings were within maximum values in the range 0.6 to 0.8 amperes, and their values are compatible with the simulated values, even exceeding the performance expectations. The temperature and distance detection were obtained with readings in the expected error range. The manual control worked well with no appreciable delay. Several different types of obstructions were tested in terms of shape, size and position of obstacles in the pipeline. The used ultrasonic sensors were proven to be very effective in identifying the obstructions, regardless of their shape, size and position. The detection distance can be adjusted starting from a range of 1 m. Then, the operator can use video streaming to further inspect the characteristics of the obstruction.

The performed tests successfully demonstrated the engineering feasibility of the proposed design as well as the user-friendliness of the proposed design, which can be operated without professional skills in a semi-automatic operation. Note that the aim of this work consisted of proposing a conceptual design. In future, we do plan to design an improved prototype and carry out more experiments as based on the outcomes of this work. Additionally, we do plan to perform safety tests, such as those outlined in [22].

Figure 11. Details of the assembling phases of PEIS at DIMEG, University of Calabria: (a) view of the back module assembly; (b) view of the front module with main electronics and sensors.

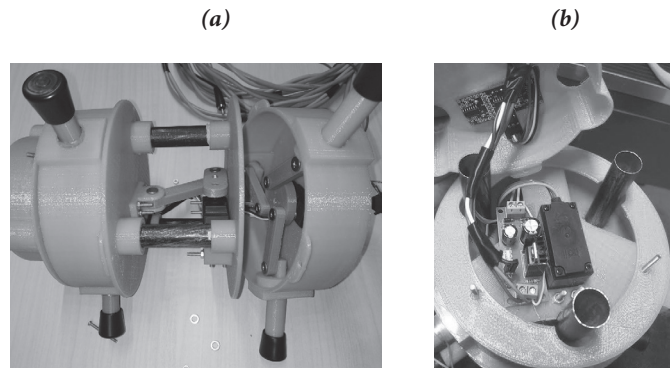
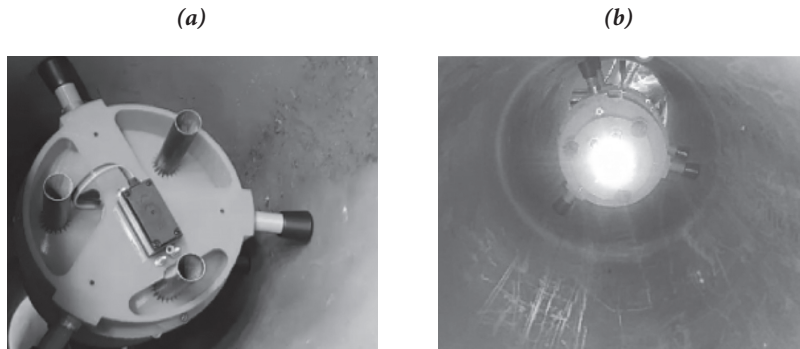


Figure 12. Details of the testing of PEIS at DIMEG, University of Calabria: (a) with natural light conditions; (b) with the onboard lighting in dark conditions.



Conclusions

This paper outlines the design of a PEIS novel robotic system for semi-automatic inspection and white-water in-pipe obstruction removal. The proposed device is characterized by a lightweight structure and high transportability. It is composed of a front, a rear and a central module that realize a worm-like locomotion of the robot with a specifically designed driving mechanism. Proper modeling and numerical simulations were carried out to complete the design of the prototype. The proposed prototype is integrated with control and sensory components and was preliminarily validated in laboratory tests under various operation conditions with horizontal and even vertical pipelines. All the tests were successful. The obtained preliminary results demonstrated the engineering feasibility and effectiveness of the proposed design with satisfactory in-pipe motion and inspection with proper visual and sensory detection of obstacles by means of the onboard camera, proximity sensor, temperature sensor, and IMU sensor. Further investigations will be carried out in the near future to integrate further sensory feedback as well as to test the device in real operation conditions.

Patents

A specific Italian patent application has been made for the PEIS design as reported in [23].

Author Contributions: Conceptualization, M.M.S., A.G., L.M., G.P. and G.C.; methodology, M.M.S., A.G., L.M., G.P. and G.C.; investigation, M.M.S., A.G., L.M., G.P. and G.C.; writing—original draft preparation, M.M.S., P.O., G.C.; supervision, G.C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was partially supported by the EFOP-3.6.1-16-2016-00003 project, which is co-financed by the European Union. Peter Odry was also partially supported by the 2020-4.1.1-TKP2020 program.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] Aspragathos, N.–Moulianitis, V.–Koustoumpardis, P. (2020): Special Issue on Human–Robot Interaction (HRI). *Robotica* 2020, 38. Pp. 1715–1716.
- [2] Worley, R.–Anderson, S. (2020): Topological robot localization in a pipe network. In Proceedings of the UKRAS20 Conference: “*Robots into the Real World*” Proceedings, Online conference. EPSRC UK-RAS Network, Pp. 59–60.
- [3] Carbone, G.–Malchikov, A.–Ceccarelli, M.–Jatsun, S. (2009): Design and Simulation of Kursk Robot for In-Pipe Inspection. In: Pro-ceedings of the 10th IFToMM International Symposium on Science of Mechanisms and Machines SYROM’09, Brasov, Springer: Dordrecht. Pp. 103–114.
- [4] Roman, H. T.–Pellegrino, B.A.–Sigrist, W. R. (1993): Pipe crawling inspection robot: An overview. *IEEE Trans. Energy Convers.* Pp. 576–583.
- [5] Nagano, S.–Oka, Y. (1988): Application of In-Pipe Visual Inspection Robot to Piping Internal Surface Lining. In: Pro-ceedings of the 5th International Symposium on Robotics in Construction, Tokyo, Pp. 897–906.
- [6] Pfeiffer, F.–Robmann, T.–Loffer, K. Control of a Tube Crawling Machine. In Proceedings of the International Conference on Control of Oscillations and Chaos, S. Petersburg, Russia. 5–7. July 2000. Volume 3; Pp. 586–591.
- [7] Bertetto, A. M.–Ruggiu, M. (2001): In-pipe inch-Worm Pneumatic Flexible Robot. In: Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Como. Pp. 1226–1231.
- [8] Anthierens, C.–Ciftci, A.–Betemps, M. (1999): Design of an Electro Pneumatic Micro Robot for In-Pipe Inspection. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bled. Pp. 968–972.
- [9] Tourajizadeh, H.–Boomeri, V.–Rezaei, M.–Sedigh, A. (2020): Dynamic Optimization of a Steerable Screw In-pipe Inspection Robot Using HJB and Turbine Installation. *Robotica*, Pp. 2001–2022.
- [10] Liang, L.–Chen, B.–Tang, Y.–Xu, Y.–Liu, Y. (2019): Operational performance analysis of spiral capsule robot in multiphase fluid. *Robotica*, Pp. 213–232.
- [11] Tang, Z.–Lu, J.–Wang, Z.–Ma, G.–Chen, W.–Feng, H. (2020): Development of a New Multi-cavity Pneumatic-driven Earthworm-like Soft Robot. *Robotica*, Pp. 2290–2304.
- [12] Zhou, F.–Xu, X.–Xu, H.–Chang, Y.–Wang, Q.–Chen, J. (2020): Implementation of a Reconfigurable Robot to Achieve Multimodal Locomotion Based on Three Rules of Configuration. *Robotica*, Pp. 1478–1494.
- [13] Roy, R.–Ghoshal, D. (2020): Grey Wolf Optimization-Based Second Order Sliding Mode Control for Inchworm Robot. *Robotica*, Pp. 1539–1557.
- [14] Saab, W.–Racioppo, P.–Kumar, A.–Ben-Tzvi, P. (2019): Design of a miniature modular inchworm robot with an anisotropic friction skin. *Robotica*, Pp. 521–538.
- [15] Carbone, G.–Ceccarelli, M. (2008): A low-cost easy-operation hexapod walking machine. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 5. Pp. 161–166.
- [16] Carbone, G.–Shrot, A.–Ceccarelli, M. (2007): Operation strategy for a low-cost easy-operation cassino hexapod. *Appl. Bionics Bio-mech.*, 4. Pp. 149–156.
- [17] Yao, S.–Cecarelli, M.–Carbone, G.–Dong, Z. (2018): Grasp Configuration Planning for a Low-Cost and Easy-Operation Underactuated Three-Fingered Robot Hand. *Mech. Mach. Theory*, 129. Pp. 51–69.
- [18] Hernández-Martínez, E. E.–Ceccarelli, M.–Carbone, G.–López-Cajún, C. S.–Jáuregui-Correa, J. C. (2010): Characterization of a ca-ble-based parallel mechanism for measurement purposes. *Mech. Based Des. Struct. Mach.* 38. Pp. 25–49.

- [19] Carbone, G.–Ceccarelli, M. (2008) Experimental Tests on Feasible Operation of a Finger Mechanism in the LARM Hand. *Mech. Based Des. Struct. Mach.*, 36. Pp. 1–13.
- [20] Odry, Á. (2021): An Open-Source Test Environment for Effective Development of MARG-Based Algorithms. *Sensors*, 21. P. 1183.
- [21] Cafolla, D.–Ceccarelli, M.–Wang, M. F.–Carbone, G. (2016): 3D printing for feasibility check of mechanism design. *Int. J. Mech. Control*, 17. Pp. 3–12.
- [22] Cordero, C. A.–Carbone, G.–Ceccarelli, M.–Echávarri, J.–Muñoz, J. L. (2014): Experimental tests in human-robot collision evaluation and characterization of a new safety index for robot operation. *Mech. Mach. Theory*, 80. Pp. 184–199.
- [23] Salvatore, M. M.–Galloro, A.–Muzzi, L.–Pullano, G.–Carbone, G. (2021): *Device for Automatic Monitoring of Occlusions in White Water Pipelines (In Italian)*. Italian Patent Application n. 102021000002651. 05 February 2021.

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) comfort 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, Un-
manned Aerial Vehicle Techno-
logy 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 Uni-
versity, 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.

Tabla 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.	1	4.8%	1	4.8%	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. Please evaluate the flight and engine displays on the cockpit panel in terms of brightness and reflection.	0	0.0%	1	5.0%	3	15.0%	14	70.0%	2	10.0%	3.85	0.671	0	0.0%	0	0.0%	1	5.3%	16	84.2%	2	10.5%	4.05	0.405
A6. Brightness and reflection of engine 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
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 fenders	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												
	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	0.697	
D. QUESTIONS ABOUT ANTHROPOMETRY																									
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	0.598	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	
E. QUESTIONS ABOUT ENVIRONMENTAL CONDITIONS																									
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	
F. QUESTIONS ABOUT FLIGHT SAFETY																									
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										Std. Deviation																																																																																																																																																																
	Poor		Fair		Average		Good		Very Good		Mean	Std. Deviation	Poor		Fair		Average		Good			Very Good		Mean																																																																																																																																																													
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%			N	%	N	%	N	%	N	%		N	%																																																																																																																																																														
B. QUESTIONS ABOUT CONTROL ELEMENTS																																																																																																																																																																																					
Please evaluate whether the following control elements are placed within the reach of both pilots																																																																																																																																																																																					
B1. 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																																																																																																																																																													
B2. 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	52.6%	8	42.1%	4.37	0.597																																																																																																																																																													
B10. Throttle	0	0.0%			3	14.3%	11	52.4%	7	33.3%	4.19	0.680	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																																																																																																																																																													
C. QUESTIONS ABOUT COMMUNICATION IN THE COCKPIT																																																																																																																																																																																					
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																																																																																																																																																													
CESSNA 172																																																																																																																																																																																					
TB-20																																																																																																																																																																																					
F4. Please evaluate the flight safety conditions of the cockpit in general													F5. In case of receiving more than one warning from the displays at the same time in the cockpit, to what extent is it affected by the pilot's decision to prioritize these warnings?																																																																																																																																																																								
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																									
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												
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	0.007
	Within Groups	15.143	38	0.398		
	Total	18.400	39			
B1	Between Groups	5.715	1	5.714536	7.70441	0.009
	Within Groups	28.185	38	0.742		
	Total	33.900	39			
B4	Between Groups	6.741	1	6.740852	9.982887	0.003
	Within Groups	25.659	38	0.675		
	Total	32.400	39			
C1	Between Groups	12.408	1	12.40758	10.4851	0.002
	Within Groups	44.967	38	1.183		
	Total	57.375	39			
C2	Between Groups	5.490	1	5.489724	6.928184	0.012
	Within Groups	30.110	38	0.792		
	Total	35.600	39			
C4	Between Groups	2.672	1	2.672	6.303	0.017
	Within Groups	15.687	37	0.424		
	Total	18.359	38			
D4	Between Groups	2.310	1	2.309774	10.84907	0.002
	Within Groups	8.090	38	0.213		
	Total	10.400	39			
E2	Between Groups	2.582	1	2.582018	4.230446	0.047

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
Concerning the readability of flight indicators in an educational flight	
– Readability of RPM, manifold, and turn coordinator (TC) are found as difficult from the left seat for trainee pilots – Variometer located on the left side of the panel found as hard to read from the right seat – At night flights digital flow meter makes blind.	– Readability of RPM indicators, engine indicators is difficult from the left seat for trainee pilots – Flight and engine indicators should be placed on the cockpit panel at a certain angle – The heading indicator is poorly fitted by both pilots
Concerning the brightness and reflection of flight indicators and Control Elements	
– IAS, VST, ALT, and Horizontal Situation Indicator is unreadable from the left seat	– For the instructor pilot sitting on the right seat, indicators placed on the left part are not readable because of reflections (viewing difficult) – The lower view is better than upper – It is difficult to reach and activate buttons and switches from the right seat – Control systems should be supported by hydraulic systems – Lighting switches from the right seat have a poor view
Environmental Conditions	
– Disturbing vibrations in the cockpit is due to panel – Difficulty with entrance to cockpit is reported – Sun protective films are needed on front and side windows – The viewing angle can be increased – Seat adjustment also avoids setting viewing angle – Multiple bolt block is needed to avoid accidental operation	– 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) – Disturbing vibrations in the cockpit is due to engine indicator vibration when the engine starts turbulence and wind conditions also increase vibration perceptions – Disturbing noise is due to the air conditioner, transmitter, heating system, turbulence, and engine – It is difficult to reach and activate buttons and switches from the right seat – 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. – Pedals are too hard and harder to feel

TB-20	Cessna 172
Anthropometry	
– 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. – The seat belt is found as too tight	– Leather seats make sweaty in warm weather – The seat backrest should be adjusted for height
In-cockpit communication	
	– Headphones need to be replaced with less permeable ones to increase student concentration – Headphones do not insulate the sound enough. – Headphones and microphones are problematic in terms of hygiene.
Flight Safety	
	– It is difficult to secure a fire extinguisher after usage – Engine noise is distracting. – It is better to give visual and audio warning together in error monitoring – 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))

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, 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.

Analyzing Well-To-Pump Emissions of Electric and Conventional Jet Fuel for Aircraft Propulsion

Abstract:

Purpose

Aviation, being one of the main transportation and economical driver of global trade and consumerism, is responsible for an important ratio of anthropogenic emissions. Electric energy use in aircraft propulsion is gaining interest as a method of providing sustainable and environmentally friendly aviation. However, the production of electricity is more energy and emission sensitive compared to conventional jet fuel.

Design/methodology/approach

A well-to-pump (WTP) energy use and emission analysis were conducted to compare the electricity and conventional jet fuel emissions. For the calculations, a software and related database which is developed by Argonne's Greenhouse gas, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET®) model is used to determine WTP analysis for electricity production and delivery pathways and compared it to baseline conventional jet fuel.

Findings

The WTP results show that electricity production and transmission have 9 times higher average emissions compared to conventional jet fuel. The future projection of emission calculations presented in this paper reveals that generating electricity from more renewable sources provides only a 50% reduction in general emissions. The electricity emission results are sensitive to the sources of production.

Originality

The main focus of the study is to analyze the well-to-pump emissions of electric energy and conventional jet fuel for use on hybrid aircraft propulsion.

Keywords: Sustainable aviation; hybrid electric aircraft; electric energy use in aviation; well to pump emissions.

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

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

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

Introduction

Climate change is now a reality (McKie, 2018). Aviation is one of the factors in this climate change (Beck et al., 1992; Marsden and Rye, 2010; Masiol and Harrison, 2014) which affects human health in broader parameters (Jadaan, Khreis and Török, 2017; Diaz, 2018; Lee et al., 2021) in return. For minimizing the emissions, every sector is looking for environmentally friendly means of operation. It is obvious that the lifestyle needs to be changed in order to prevent further adverse effects on the environment, as present conditions are a result of how humans conceive and consume natural habitat (Baumeister, 2020).

Demand for aviation is increasing with increasing commercialism and global movements of people and freight. Passenger kilometers growth estimation is given in Table I. It can be seen that annual growth is expected to be around 4.2% in passenger traffic.

Table 1. Route Group and Global Compound Annual Growth Rates (CAGR) of Forecasted RPKs (ICAO, 2019)

Long-Term Forecasts Route Group	2018-2028 CAGR	2018-2038 CAGR	2018-2048 CAGR
Africa	4.6%	5.0%	5.2%
Europe	2.6%	2.8%	3.0%
Middle East	3.6%	3.9%	4.0%
North America	2.3%	2.5%	2.7%
North Asia	2.2%	2.5%	2.5%
World	4.2%	4.2%	4.2%

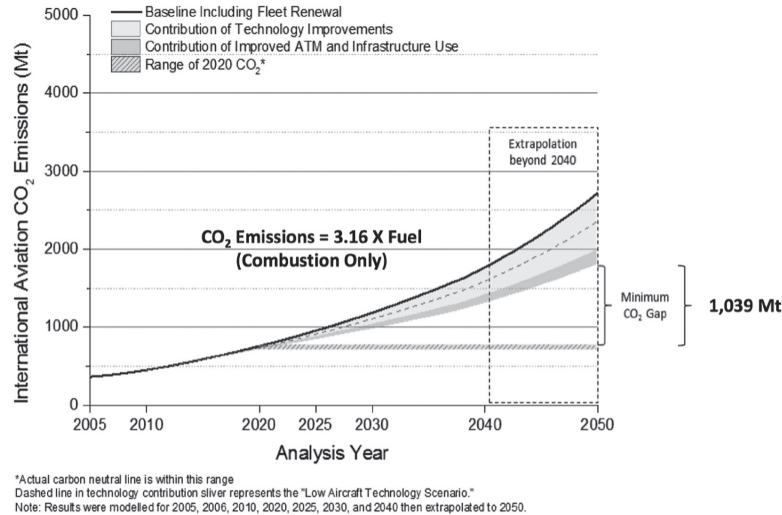
According to ICAO's forecast, the air cargo traffic is also expected to grow, slower than the passenger traffic, at a rate of 3.5% annually. Growth rate per region is given in Table II. The growth rate given is modelled and represents an estimated figure. Both passenger and freight traffic are expected to double in the next two decades.

Table 2. Region and Global Compound Annual Growth Rates of Forecasted Total International FTKs (ICAO, 2019)

Region	10 Year CAGR	20 Year CAGR	30 Year CAGR
Africa	3.5%	4.0%	4.1%
Asia and Pacific	3.8%	3.2%	2.8%
Europe	1.4%	1.7%	1.9%
Latin America/ Caribbean	0.8%	1.1%	1.2%
Middle East	6.1%	6.2%	6.1%
North America	3.3%	3.3%	3.3%
Total	3.5%	3.5%	3.5%

Energy sustainability and emission reduction is a key issue for aviation in order to overcome environmental and economic issues (Larsson et al., 2019). The demand growth of the aviation makes it more complex to cope with the sustainability efforts. Aircraft exhaust gases have a direct impact on environmental pollution and global warming (European Commission (EC), 2011). CO₂ emission estimation depending on models provided by ICAO is presented in *Figure 1*. While growing economies result in increasing utilization of air travel, increasing operating costs make the operators search for fuel-saving measures (Li and Trani, 2013).

Figure 1. CO₂ emissions trends from international aviation, 2005 to 2050
(Fleming and Ziegler, 2016)



The above-mentioned requirements push the academy and industry to develop fuel-efficient and environmentally friendly propulsion technologies (Lapeña-Rey et al., 2008). The most promising technology came out to be electric propulsion which is widely analyzed in the research (Berton and Haller, 2014; Epstein and O’Flarity, 2019). Electric propulsion do not produce emissions during operation and thus assumed as environmentally friendly (Meszaros, Shatanawi and Ogunkunbi, 2020). However, storing the electric energy onboard the aircraft with current battery technology creates additional weight problems to be dealt (Pornet et al., 2014). Because of this limitation, all-electric propulsion does not seem to offer competing performance with the fuel counterparts (Benjamin J Brelje and Martins, 2018).

Because of the battery technologies, hybrid propulsion seems to fill the gap (Wall and Meyer, 2017; Xie, Savvaris and Tsourdos, 2018). Various configurations of hybrid-electric propulsion are analyzed in the literature. They include distributed propulsion (Steiner et al., 2014), series, and parallel architectures (Cinar et al., 2017; Benjamin J. Brelje and Martins, 2018).

Among the flight phases, during descent the throttle setting of the engine drops. According to findings of Glowacki et.al. (Glowacki and Kawalec, 2016), the fuel spend in take-off and climb phases are the highest, three times to cruise phase, and is approximately 15 times to descent.

Using hybrid configuration, the engines can be used to charge the batteries during the low-fuel flow phase, which can be used in high-power phases.

Design considerations of hybrid-electric aircraft show that the technology is applicable (Riboldi and Gualdoni, 2016; Finger, Braun and Bil, 2018; Hoelzen et al., 2018; Vratny and Hornung, 2018). Conceptual design studies of mid-range aircraft show that the battery weight will be around 15% of Maximum Take-off Weight (MTOW) for hybrid (Pornet and Isikveren, 2015) and 28% for all-electric aircraft (Steiner et al., 2012) which are given as 12tons and 30tons of battery weight respectively. Such amount of batteries need to be charged on ground, without spending valuable on-board fuel.

Assuming a charging rate of around 1C, charging the batteries would require around 1 hour. In the literature, faster charging have drawbacks such as thermal heating, degradation of useful life, and handling problems (Farrington, 2001; Zheng et al., 2015; Schipper and Aurbach, 2016). Also, as the servicing time of an aircraft in a domestic route is approximately 25 minutes (Marais and Waitz, 2009), battery charging is not an option during aircraft servicing. Yet, safety and other operational requirements such as charging during ground servicing operations are not discussed.

The practice of charging the batteries of ground service equipment (GSE) in a station (Justin et al., 2020; Yildiz and Mutlu, 2020) can be applied for aircraft batteries. The battery is removed and placed in the charging station, while another already charged battery is installed on board. By employing such a charging option, aircraft ground servicing time can be kept under a minimal duration. The duration needed will then be the unloading and loading time of the battery.

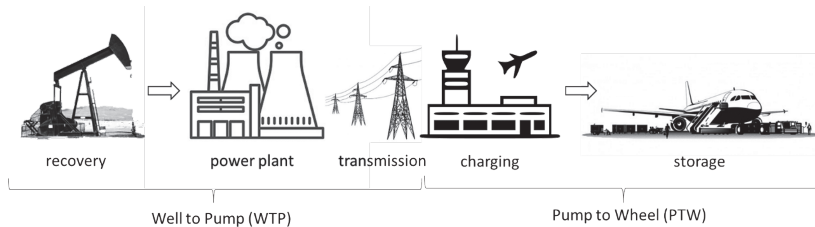
Electric Energy Use: Production, Transmission and Storage

Electric energy use in aviation seems to be a future solution for overcoming emission and cost factors, at least in the mid-term. The usage of the battery will create the necessity of charging, preferably at the airport as explained above. At present, there is no published standard nor application of battery charging stations for aircraft batteries.

This paper, analyzes the scenario of electricity generation, and transmission up to the airport where aircraft batteries are charged and stored onboard the aircraft, with present electricity mix. In this scenario, it is assumed that the batteries on board the aircraft are being charged on the airport using electricity provided by the grid which is already established. The batteries in this scenario can be still charged on board, using the generators during the low-power flight phases. The initial, ground charge of the batteries can be used during take-off and climb.

The cycles of electricity production, transmission, and charging are discussed under the respective sections. A brief relation of the cycles is given in *Figure 2*. The findings are gathered and analyzed under the following sections.

Figure 2. Electric energy path from well (source) to airport (pump) in the case of using onboard batteries charged on the ground



PRODUCTION

Electricity demand is increasing due to economic development and urbanization. Current electric energy production mostly and widely depends on fossil fuels in the world (He et al., 2017; Li, Patiño-Echeverri and Zhang, 2019). The fuels used to generate electricity can be listed as coal, lignite, petroleum, and natural gas (Kaygusuz, 2003). Emissions, produced by electric generation processes can reach up to 34% of all emissions in the case of China (Li, Patiño-Echeverri and Zhang, 2019) and 39% in Turkey (Kaygusuz, 2003).

In general, renewable energy production is increasing and as a result fossil fuel consumption and CO₂ emissions are decreasing (Kasten et al., 2016). The benefits of renewable resources are known (Gibon and Hertwich, 2014). Wind and solar generation may reveal cleaner energy, but recent research is suspicious about the adverse effects on climate (Keith et al., 2004; Barrie and Kirk-Davidoff, 2010; Caduff et al., 2012; Abbasi, Tabassum-Abbasi and Abbasi, 2016). The literature shows that although using renewable sources such as wind gives the possibility to reduce emissions, indirect adverse effects on climate is a problem for mid-term.

Another dimension of the conventional production of electric energy is the security and transportation of the fuel from well up to the generation plant (Bouman, Ramirez and Hertwich, 2015). The downstream of fuel has its own emission profile and has an adverse effect on climate and social life (Kruyt et al., 2009; Winzer, 2012; Shepard and Pratson, 2020).

TRANSMISSION

Electric energy transmission is not as environmentally clean as expected (Blackett et al., 2008; Turconi et al., 2014). Various studies show that the transmission of 1 MWh of electric energy could create up to 7.8 kg of CO₂ because of the inefficiencies and losses on the grid (Arvesen et al., 2015).

Power restrictions on the grid is also another negative aspect that should be evaluated for aviation. For the case presented in this paper, a concentrated transmission is required from the production plant up to the airport where the electric energy is used to charging the aircraft batteries besides present consumption. As the present grid is designed according to the energy demand of the airport and related infrastructure, the addition of an aircraft battery charging load may lead to limitations.

There are already some applications of roof-top solar panel installations in some airports (HDoT, 2019). The investment is said to be secured using the energy cost of the airport and thus have no direct effect on the energy supply cost to the aviation system. Application on the airport of Honolulu is shown in *Figure 3*.

Figure 3. Solar panel installation at HNL airport on Terminal 2 (HDoT, 2019)



STORAGE

The current technology of batteries depends mainly on lithium electrochemistry. The current technology has a drawback by means of capacity degradation depending on usage and time (Marcicki et al., 2012; Zheng et al., 2015; Jaguemont, Boulon and Dubé, 2016). This capacity degradation of the lithium-ion batteries creates further economic and safety problems for aviation. Thus comprehensive health monitor-

ing and life extension methodologies and measures are needed in order to achieve a safe use for aviation (Penna, Nascimento and Rodrigues, 2012). Current battery technologies also have a deficiency by means of power capability (Vutetakis, 2013). In case of higher instantaneous power required by the aircraft systems, the designer is urged to install a higher amount of battery which also means more added weight and volume to aircraft. A recent calculation using current battery power and energy capacities yields a 28% increase in MTOW of the aircraft which has a 1300 nm range and 180 passenger capacity (Pornet and Isikveren, 2015).

Batteries also have inefficiencies such as loss of energy during charging and discharging by means of Joule heating (Deng et al., 2018). Although this inefficiency is not high by means of energy loss, it bears a safety problem and needs robust cooling systems (Hendricks et al., 2015).

The calculated battery capacity for a medium-range aircraft is above 10 tons of weight (Pornet and Isikveren, 2015). A general turnaround time of a domestic aircraft is 25 minutes in which a battery charging would require the use of over 2C charging currents regardless of the battery capacity. Charging a battery in high current values requires high power which again would create a high capacity demand on transmission grid. Besides, high-speed charging also is known to degrade battery health (Maher and Yazami, 2014; Rezvanizani et al., 2014; Gong, Xiong and Mi, 2015; Zheng et al., 2015). Heat production during the charging of a high amount of battery and related safety issues will also add up to the list of drawbacks (Yildiz, Karakoc and Dincer, 2016).

Data and Models

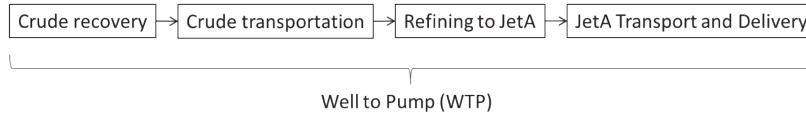
SYSTEM BOUNDARY

In this research, we have performed an analyze to compare the emission performances of electric energy used to charge the aircraft batteries and current state of jet fuel emissions on the well to pump (WTP) phases. The system boundary to analyze the effects of fuel production and delivery stages (i.e., WTP) is given in Figure 4. We used Argonne's Greenhouse gas, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation (GREET®) model to determine WTP analysis for electricity production and delivery pathways, and compared it to baseline conventional jet fuel (Wang et al., 2020). We focus exclusively on the fuel cycle. Emissions related to aircraft operation is out of scope of this research.

We evaluated fuel production and delivery pathways for jet fuel and electricity to compare the WTP emission and energy performance. For electricity production, European mix values with transmission and distribution for year of 2019 is used.

The system boundary for jet fuel is assumed to be started at the well where crude oil recovered. Search and drilling efforts and emissions related to it is not included in this study. The schematic of the system boundary for jet fuel WTP is given in *Figure 4*.

Figure 4. Conventional jet fuel WTP system boundary



Well to pump emissions for conventional jet fuel includes transportation and refinery emissions. During the refinery process of crude oil other types of energy sources are also utilized which ends up in additional emissions which have to counted in the emission budget of fuel use (Sun et al., 2019). Same research also shows that downstream jet fuel pathway emissions (WTP) found to be around 1:8 of all the emissions related to well to wheel (WTW), which is the result of fuel burnt during flight.

ELECTRICITY PRODUCTION MIX

Electricity production model parameters are given in *Table 3*. The ratios of European mix for electricity depends on mainly nuclear, coal and natural gas fired thermal generation which give the source of production of over 80% where hydroelectric and biomass generation fulfil the rest. Wind power generation also seem as an emerging source and has a ratio of 15.5% for the 2019. In this study, electricity transmission efficiency for Europe is taken as 93.56% in the model.

Table 3. Electricity production mix and related emissions for Europe (2019)

Electricity generation power source	European mix share (2019)	Energy and Emission Intensities per 1 MJ of Electricity at Wall Outlet			
		CO ₂ Total (g)	CO (g)	NOx (g)	GHGs (g)
Oil fired	0.10%	260.00	0.65	1.17	270.00
Coal-fired	21.50%	282,120.00	24,300.00	140.00	259,790.00
Natural Gas-fired	20.50%	129,270.00	97.29	120.00	137,590.00
Nuclear	26.60%	1.89	0.00	0.00	2.03
Biomass	6.30%	6,510.00	1,390.00	310.00	18,590.00
Hydroelectric	9.50%	0.00	0.00	0.00	0.00
Wind	15.50%	0.00	0.00	0.00	0.00

In the model raw source emissions are also included in emission calculations. The source emissions in the pathway of biomass power generation, arising from poplar, willow, forest residue productions are also included in ethanol production phase. Coal production emission are included in pathway to coal fired power generation. Natural gas production by conventional means is included in natural gas fired power plant emission calculations. Nuclear power generation calculations are inclusive of uranium fuel enrichment process emissions. Oil fired power generation calculations include residual oil production emission from both crude oil refining and heavy butane production. The above mentioned emission parameters are used as in the default values in the model (Wang et al., 2020).

In order to simulate the change in emissions using possible future alternative mix projections are calculated. Possible future mix are dependent on the assumption of further deployment of renewable sources such as solar and wind, in greater ratios. Introduction of higher renewable sources allowed the reduction of coal and natural gas use, neglecting the effect of population and energy demand increase in those years.

JET FUEL PRODUCTION

Conventional jet fuel WTP steps were given in Figure 5. Emissions related to the steps are calculated using GREET model. The model also regards the emissions related to energy used in refinery. The energy forms used in refinery includes natural gas, unfinished oil, gaseous hydrogen, electricity, butane, naphtha and crude oil. Emissions related to the recovery and transportation of these energy forms are also included in the model (Wang et al., 2020).

WTP ANALYSIS USING THE GREET MODEL

The simulation year for upstream energy mixes and emissions for all fuel production pathways was selected as 2019. Emission values for each energy type and pathways are calculated by the GREET tool. We assumed that the electricity used is sourced from the current average European grid generation mix. Since the electricity source plays a critical role in determining the environmental profile of energy used in aviation, alternative mix ratios for possible future scenarios are also studied in this paper. In order to give an overview of changes of emission values by introducing further renewable energy sources in the mix, hypothetical future mix values for 2030 and 2050 are introduced.

Results and Discussion

WTP FOSSIL ENERGY USE AND GHG EMISSION RESULTS

Table 4. shows the GHG emissions for the WTP of 1 MJ of electric energy transmitted up to airport in order to use charging the aircraft battery. Electricity transmission efficiency for Europe is taken as 93.56% in the model. The emissions related to transmission and distribution in Europe is calculated by the GREET model is also included in the results.

Table 4. WTP emissions of European electricity mix at wall output per 1MJ of electricity

Emissions	
CO ₂ Total (g)	89.53
VOC (mg)	12.54
CO (g)	120
NO _x (mg)	78.2
PM ₁₀ (mg)	49.09
PM _{2.5} (mg)	15.93
SO _x (mg)	170
GHGs (g)	95.05
POC (mg)	4.49

Table 5. shows the WTP GHG emissions for recovery, refining, transport and storage of 1 MJ of jet fuel up to the airport. The WTP GHG emissions of the fuel energy is nearly one ninth of the emissions related to electricity. As the thermodynamic processes of electric production is performed earlier in the upstream of energy, WTP emission results of jet fuel seem cleaner compared to electric energy. On the other hand, the PTW emissions including the burning of jet fuel in aircraft engine is not included in the results.

Table 5. WTP Emissions of 2019 figures for 1 MJ of Conventional Jet Fuel

Emissions	
CO ₂ Total (g)	8.41
VOC (mg)	6.61
CO (mg)	0.01
NOx (mg)	19.74
PM10 (mg)	1.12
PM2.5 (mg)	0.94
SOx (mg)	6.01
GHGs (g)	11.23
POC (mg)	0.29

In a combined flight phase, aircraft emissions depend on several parameters such as take-off weight, engine model and age, flight range, environment temperature, elevation, etc. The relative amount of exhaust emissions produced by engine, depends upon combustor temperature and pressure, fuel to air ratio values and the extent to which fuel is atomized and mixed with inlet air, which also depends on flight phase related conditions of the aircraft.

ICAO provided a databank which can be used for simplified approximation of jet fuel and related emissions with specific values of aircraft and engine types (ICAO, 2011). Using this databank, an example aircraft of Boeing 737 with CFM56-7B engine emission values is used. For the takeoff of the said aircraft type, duration is given as 42 seconds and at a fuel flow rate of 1.154 kg/s which totals 48.468 kg of jet fuel. Using lower calorific value of 42.8 MJ/kg, the spent fuel for the takeoff is found to be around 1.132 MJ. The emissions related to takeoff phase of the aircraft for 1 MJ of fuel burnt are calculated as 1.32 kg NOx/MJ and 8.56 g CO/MJ. As it can be seen, NOx emission well passes the value of electricity when added to fuel emission, but CO emission of fuel added to the takeoff value still stays well below the electricity CO emission. Again, the values calculated here are for only takeoff settings of engines. During cruise and

other phases, specific emissions differs and need to be calculated accordingly. As the aim of this paper is to discuss the possible emission factors using hybrid electric propulsion in aircraft, flight phases are not included. The simplified calculation given here is for having a general idea and do not resemble the whole flight cycle.

IMPACT OF ELECTRICITY GENERATION MIX ON WTP ENERGY USE AND EMISSIONS

It can be seen that the GHG emissions related to WTP electricity production and transmission is around 9 times higher than the emissions related to WTP fuel emissions. We have conducted a what-if analyze using a hypothetical future projection for electricity production mix for Europe for 2030 and 2050. The mix ratios are given in *Table 6*.

Table 6. Projected future electricity production mix shares

Electricity generation power source	mix share (2019)	mix share (2030)	mix share (2050)
Oil fired	0.10%	0.10%	0.10%
Coal-fired	21.50%	16.50%	11.50%
Natural Gas-fired	20.50%	17.50%	10.50%
Nuclear	26.60%	20.10%	16.60%
Biomass	6.30%	6.30%	2.30%
Hydroelectric	9.50%	9.50%	9.50%
Wind	15.50%	30.00%	45.50%
Solar	0.00%	0.00%	4.00%

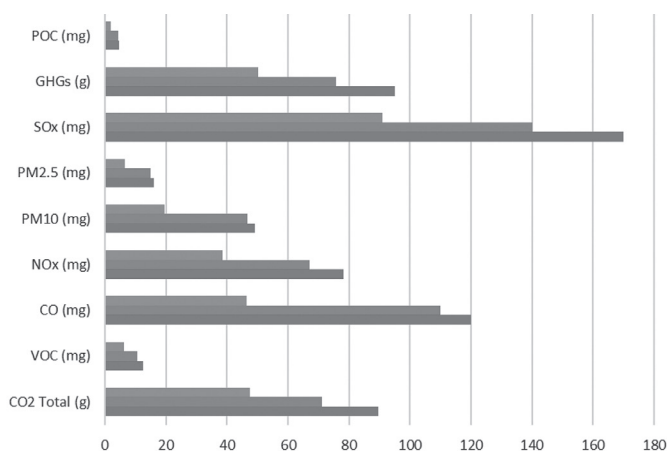
The hypothetical approach depends on the main idea of introducing more renewable sources in electricity production, while reducing the ratio of coal and biomass sources. Here it is assumed that in 2030 wind power generation will prevail all others while coal, biomass, natural gas and nuclear sources are reduced. In 2050, it is assumed that the coal fired, natural gas fired and biomass production will be nearly halved compared to 2019 and wind power source is tripled, with an introduction of solar energy supply with a share of 4%. The emissions related to these shares are given in *Table 7*.

Table 7. Emissions of electricity production depending on projected mix values

Emissions	2019 mix	2030 mix	2050 mix
CO ₂ Total (g)	89.53	71.18	47.38
VOC (mg)	12.54	10.65	6.17
CO (mg)	120	110	46.28
NOx (mg)	78.2	66.97	38.65
PM10 (mg)	49.09	46.81	19.66
PM2.5 (mg)	15.93	14.97	6.59
SOx (mg)	170	140	90.83
GHGs (g)	95.05	75.75	50.18
POC (mg)	4.49	4.34	1.76

It can be seen that the emission related to WTP electricity can be significantly reduced with the introduction of renewable sources. Bearing in mind that the figures still inclusive of transmission losses and emissions related to that. In case the renewable energy is produced in site such as in the example of Honolulu airport, the efficiency loss of the transmission will be omitted thus the emissions will be further reduced. The comparison of the emissions are given in *Figure 5*.

Figure 5. WTP GHG emissions of electricity according to mix values



It can be seen that the WTP emission values of electricity nearly halved by using more renewable energy sources in production. More reductions can be seen on CO and PM10, while VOC and CO2 emission could not be reduced in parallel, at the same rate.

Conclusion

Aviation, being one of the main transportation and economical driver of current lifestyle, is responsible for an important ratio of the anthropogenic emissions. This paper compared the WTP energy use and emissions of the electricity and conventional jet fuel supply to airport. The WTP results show that average emissions related to electricity is nearly 9 times higher than the WTP emissions of conventional jet fuel. The WTP results are sensitive to the source of power used to generate electricity. With introduction of more renewable energy sources in the mix, an average reduction in emissions is gained at a rate of around 50%. It can be concluded that turning from only fuel flight to electric-fuel hybrid is not a promising change in practical means of eliminating the environmental effects of aviation in a radical order. In order to benefit from the fuel-electric hybrid on especially mid-range aircraft, electric energy production using fossil fuel and transmission inefficiencies have to be eliminated. The solution to this problem seems to have the capability to produce electric energy just-in-place, for example, as in our case, at the airport. The possible use of solar panels on top of the airport rooftop. With such installation and production capability, inefficiencies and emissions resulted from production and transmission will also be eliminated. In addition to this, the electrification of airports and ground support equipment would also benefit in case of the application of the said method.

References

- Abbasi, S. A.: Tabassum-Abbasi-Abbasi, T. (2016): 'Impact of wind-energy generation on climate: A rising spectre', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59. Pp. 1591–1598.
- Arvesen, A. et al., (2015): 'Life cycle assessment of transport of electricity via different voltage levels: A case study for Nord-Trøndelag county in Norway'. *Applied Energy*, 157. Pp. 144–151.
- Barrie, D. B.–Kirk-Davidoff, D. B. (2010): 'Weather response to a large wind turbine array'. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10. (2.) Pp. 769–775.
- Baumeister, S. (2020): 'Mitigating the Climate Change Impacts of Aviation through Behavioural Change'. *Transportation Research Procedia*, 48. Pp. 2006–2017.

- Beck, J. P. et al., (1992): 'The effect of aircraft emissions on tropospheric ozone in the northern hemisphere', *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26. (1.) Pp. 17–29.
- Berton, J. J.–Haller, W. J. (2014): 'A Noise and Emissions Assessment of the N3-X Transport'. In: 52nd Aerospace Sciences Meeting.
- Blackett, G. et al., (2008): 'An evaluation of the environmental burdens of present and alternative materials used for electricity transmission', *Building and Environment*, 43. (7.) Pp. 1326–1338.
- Bouman, E. A.–Ramirez, A.–Hertwich, E. G. (2015): 'Multiregional environmental comparison of fossil fuel power generation—Assessment of the contribution of fugitive emissions from conventional and unconventional fossil resources'. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 33. Pp. 1–9.
- Brelje, Benjamin J.–Martins, J. R. (2018) 'Development of a Conceptual Design Model for Aircraft Electric Propulsion with Efficient Gradients', in 2018 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Brelje, Benjamin J.–Martins, J. R. R. A. (2018): 'Progress in Aerospace Sciences Electric , hybrid , and turboelectric fixed-wing aircraft : A review of concepts, models, and design approaches', *Progress in Aerospace Sciences*, 104 (March) Pp. 1–19.
- Caduff, M. et al., (2012): 'Wind power electricity: The bigger the turbine, the greener the electricity?' *Environmental Science and Technology*, 46. (9.) Pp. 4725–4733.
- Cinar, G. et al., (2017): 'Sizing, Integration and Performance Evaluation of Hybrid Electric Propulsion Subsystem Architectures', 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting, (January 2017) Pp. 1–18.
- Deng, J. et al., (2018): 'Safety modelling and testing of lithium-ion batteries in electrified vehicles', *Nature Energy*, 3. (4.) Pp. 261–266.
- Diaz, J. H. (2018): 'Global Climate Changes and International Trade and Travel: Effects on Human Health Outcomes ☆', in Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *Elsevier*.
- Epstein, A. H.–O'Flarity, S. M. (2019): 'Considerations for Reducing Aviation's CO₂ with Aircraft Electric Propulsion'. *Journal of Propulsion and Power*, 35. (3.) Pp. 572–582.
- European Commission (EC) (2011): Flightpath 2050 Europe's Vision for Aviation.
- Farrington, M. D. (2001): 'Safety of lithium batteries in transportation', *Journal of Power Sources*, 96. (1.) Pp. 260–265.
- Finger, D. F.–Braun, C.–Bil, C. (2018): 'An Initial Sizing Methodology for Hybrid-Electric Light Aircraft', in.
- Fleming, G. G.–Ziegler, U. (2016): *Environmental Trends in Aviation to 2050*. Available at: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/env2016.aspx>.
- Gibon, T. and Hertwich, E. (2014): 'A Global Environmental Assessment of Electricity Generation Technologies with Low Greenhouse Gas Emissions', *Procedia CIRP*, 15. Pp. 3–7.
- Glowacki, P.–Kawalec, M. (2016): 'Quantitative emissions of NO_x, CO and CO₂ during aircraft operations', 30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2016, (X).
- Gong, X.–Xiong, R.–Mi, C. C. (2015): 'Study of the Characteristics of Battery Packs in Electric Vehicles With Parallel-Connected Lithium-Ion Battery Cells'. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51. (2.) Pp. 1872–1879.
- HDoT (2019): *Installation of Nearly 3,000 Solar Panels at HNL Complete*, The Hawaii Department of Transportation. Available at: <https://hidot.hawaii.gov/airports/installation-of-nearly-3000-solar-panels-at-hnl-complete/> (Accessed: 10 January 2021).
- He, X. et al., (2017): 'Energy consumption and well-to-wheels air pollutant emissions of battery electric buses under complex

- operating conditions and implications on fleet electrification'. *Journal of Cleaner Production*.
- Hendricks, C. et al., (2015) 'A failure modes, mechanisms, and effects analysis (FMMEA) of lithium-ion batteries'. *Journal of Power Sources*, 297. Pp. 113–120.
- Hoelzen, J. et al., (2018): 'Conceptual Design of Operation Strategies for Hybrid Electric Aircraft' *Energies*. 11. (1.) P. 217.
- ICAO (2011): *Airport Air Quality Manual*. Available at: https://www.icao.int/publications/Documents/9889_cons_en.pdf.
- ICAO (2019): *Forecasts of Scheduled Passenger and Freight Traffic*. Available at: <https://www.icao.int/sustainability/Pages/eap-fp-forecast-scheduled-passenger-traffic.aspx> (Accessed: 10 January 2021).
- Jadaan, K.–Khreis, H.–Török, Á. (2017): 'Exposure to Traffic-related Air Pollution and the Onset of Childhood Asthma: A Review of the Literature and the Assessment Methods Used'. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 46. (1.) P. 21.
- Jaguemont, J., Boulon, L.–Dubé, Y. (2016): 'A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures'. *Applied Energy*. 164. Pp. 99–114.
- Justin, C. Y. et al., (2020): 'Power optimized battery swap and recharge strategies for electric aircraft operations', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 115. P. 102605.
- Kasten, P. et al., (2016): *Assessing the status of electrification of the road transport passenger vehicles and potential future implications for the environment and european energy system*.
- Kaygusuz, K. (2003): 'Energy policy and climate change in Turkey'. *Energy Conversion and Management*. 44. (10.) Pp. 1671–1688.
- Keith, D. W. et al., (2004): 'The influence of large-scale wind power on global climate'. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 101. (46.) Pp. 16115–16120.
- Krutz, B. et al., (2009): 'Indicators for energy security'. *Energy Policy*. 37(6), Pp. 2166–2181. doi: 10.1016/j.enpol.2009.02.006.
- Lapeña-Rey, N. et al., (2008): 'Environmentally friendly power sources for aerospace applications'. *Journal of Power Sources*, 181. (2). Pp. 353–362.
- Larsson, J. et al., (2019): 'International and national climate policies for aviation: a review'. *Climate Policy*, 19. (6.) Pp. 787–799.
- Lee, D. S. et al., (2021): 'The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018'. *Atmospheric Environment*. 244. P. 117834.
- Li, M.–Patiño-Echeverri, D.–Zhang, J. (Jim) (2019): 'Policies to promote energy efficiency and air emissions reductions in China's electric power generation sector during the 11th and 12th five-year plan periods: Achievements, remaining challenges, and opportunities'. *Energy Policy*. 125. Pp. 429–444.
- Li, T.–Trani, A. A. (2013): 'Modeling the impact of fuel price on the utilization of piston engine aircraft', 2013 Integrated Communications, *Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. Pp. 1–13.
- Maher, K.–Yazami, R. (2014): 'A study of lithium ion batteries cycle aging by thermodynamics techniques'. *Journal of Power Sources*, 247. Pp. 527–533.
- Maraix, K. and Waitz, I. A. (2009): 'Air Transport and the Environment'. In: Belobaba, P.–Odoni, A.–Barnhart, C. (Eds.): *The Global Airline Industry*. London: John Wiley–Sons.
- Marcicki, J. et al., (2012): 'Nonlinear parameter estimation for capacity fade in Lithium-ion cells based on a reduced-order electrochemical model', in 2012 American Control Conference (ACC). *IEEE*, Pp. 572–577.
- Marsden, G.–Rye, T. (2010): 'The governance of transport and climate change'. *Journal of Transport Geography*, 18. (6.) Pp. 669–678.
- Masiol, M.–Harrison, R. M. (2014): 'Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient

- air pollution: A review', *Atmospheric Environment*, 95. Pp. 409–455.
- McKie, R. (2018): 'Portrait of a planet on the verge of climate catastrophe', *Guardian*. Available at: <https://www.theguardian.com/environment/2018/dec/02/world-verge-climate-catastrophe>.
- Mészáros, F.–Shatanawi, M.–Ogunkunbi, G. A. (2020): 'Challenges of the Electric Vehicle Markets in Emerging Economies', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 49. (1.) Pp. 93–101.
- Penna, J. A. M.–Nascimento, C. L.–Rodrigues, L. R. (2012): 'Health monitoring and remaining useful life estimation of lithium-ion aeronautical batteries', in 2012 IEEE Aerospace Conference. *IEEE*, Pp. 1–12.
- Pornet, C. et al., (2014): 'Methodology for Sizing and Performance Assessment of Hybrid Energy Aircraft'. *Journal of Aircraft*, 52. (1.) Pp. 1–12.
- Pornet, C.–Isikveren, A. T. (2015): 'Conceptual design of hybrid-electric transport aircraft'. *Progress in Aerospace Sciences*, 79. Pp. 114–135.
- Rezvanzaniani, S. M. et al., (2014): 'Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (EV) safety and mobility'. *Journal of Power Sources*, 256. Pp. 110–124.
- Riboldi, C. E. D.–Gualdoni, F. (2016): 'An integrated approach to the preliminary weight sizing of small electric aircraft'. *Aerospace Science and Technology*, 58. Pp. 134–149.
- Schipper, F.–Aurbach, D. (2016): 'A brief review: Past, present and future of lithium ion batteries'. *Russian Journal of Electrochemistry*, 52. (12.) Pp. 1095–1121.
- Shepard, J. U.–Pratson, L. F. (2020): 'Hybrid input-output analysis of embodied energy security'. *Applied Energy*, 279. P. 115806.
- Steiner, H.-J. et al., (2014): 'Optimum number of engines for transport aircraft employing electrically powered distributed propulsion'. *CEAS Aeronautical Journal*, 5. (2.) Pp. 157–170.
- Steiner, H. et al., (2012): 'Performance and Sizing of Transport Aircraft Employing Electrically-Powered Distributed Propulsion', Deutscher Luft- und Raumfahrt Kongress 2012, Berlin. (August 2016).
- Sun, P. et al., (2019): 'Criteria Air Pollutant and Greenhouse Gases Emissions from U.S. Refineries Allocated to Refinery Products'. *Environmental Science–Technology*, 53. (11.) Pp. 6556–6569.
- Turconi, R. et al., (2014): 'Life cycle assessment of the Danish electricity distribution network'. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19. (1.) Pp. 100–108.
- Vratny, P. C.–Hornung, M. (2018): 'Sizing Considerations of an Electric Ducted Fan for Hybrid Energy Aircraft', In: *Transportation Research Procedia*.
- Vutetakis, D. (2013): 'Applications – Transportation | Aviation: Battery', in Reference Module in Chemistry. *Molecular Sciences and Chemical Engineering*.
- Wall, T. J. and Meyer, R. (2017): 'A Survey of Hybrid Electric Propulsion for Aircraft'. In: *53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi: 10.2514/6.2017-4700.
- Wang, M. et al., (2020): 'Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies Model * (2020 Excel)'. Winzer, C. (2012): 'Conceptualizing energy security'. *Energy Policy*, 46. Pp. 36–48.
- Xie, Y.–Savvaris, A.–Tsourdos, A. (2018) 'Sizing of hybrid electric propulsion system for retrofitting a mid-scale aircraft using non-dominated sorting genetic algorithm'. *Aerospace Science and Technology*, 82–83. Pp. 323–333.
- Yildiz, M.–Karakoc, H.–Dincer, I. (2016): 'Modeling and validation of temperature changes in a pouch lithium-ion battery at various discharge rates'. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 75. Pp. 311–314.

Yildiz, M.–Mutlu, S. (2020): 'Sivil Havacılıkta Elektrikli Yer Hizmetleri Teçhizatı Kullanımı Faydalar, Kısıtlar ve Öner-

iler'. *Műهندislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8. (1.) Pp. 314–325.

Zheng, Y. et al., (2015): 'Understanding aging mechanisms in lithium-ion battery packs: From cell capacity loss to pack capacity evolution', *Journal of Power Sources*, 278. Pp. 287–295.

Environmental and Economic Analysis of Emission Reduction Strategies for Airport Ground Operations: A Case Study of Esenboga International Airport

Abstract: Aviation is a system of systems whose success depends on the performance of each sub-system. Concerns on environmental protection makes the aviation industry focus on reduction in emissions produced during operation. Although aircraft emissions are widely discussed in the literature, ground handling systems which are an integral part of the whole aviation system also need to be studied regarding the environmental issues. Besides, EU has set out targets of reducing emissions at the airports during ground operations to zero. Ground handling is performed by using Ground Service Equipment (GSE) which is historically powered by diesel and such internal combustion engines. The emissions of these types of engines are well known for their high emission rates. As the airports reside in or near the populated areas as cities, GSE emissions need to be evaluated for reduction. For reducing emissions of GSE, electric energy is thought of as an alternative. It is shown that the emissions of electricity production are high, which causes it to decide further on the electric energy use by environmental reasons. This paper evaluates the hypothetical situation; in a resembling airport of Esenboğa Airport and analyses the condition of all GSE equipment to be supplied by electricity produced by solar panels mounted on the rooftop of the terminal building. The case is discussed by means of environmental emissions and economic feasibility. It is concluded in this research that installation of solar panels on the airport in order to energize the electrical GSE, offers the operators not only environmentally but also an economically feasible way of operation. The results of the resembling case can be generalized to all airports for the reduction of emissions caused by ground operations of the aviation.

Keywords: Airport emissions; sustainable aviation services; renewable energy infrastructure.

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

** *Atilim University, School of Civil Aviation Ankara*
E-mail: savas.mutlu@atilim.edu.tr

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

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

Introduction

The aviation sector has a constant growth rate for years. Ground handling is an important part of the aviation sector hence growing in parallel to increasing demand. The equipment used to provide service to the aircraft and passengers at the airport is called Ground Support Equipment (GSE). Historically the GSEs are powered by diesel engines which are well known for their high levels of hazardous emissions. With increasing interest in environmental protection and high oil prices, electric propulsion is getting more and more important. There are several projects all over the world in order to convert conventional GSE to electrical ones (i.e.eGSE).

Regulations are also limiting the use of diesel engine GSE in closed areas such as under the terminal building. The use of eGSE is started to get interested although its higher initial cost, in order to comply with this regulation. There are several pros and cons about the eGSE compared to its diesel counterparts.

In this paper emissions and their effects are briefly explained. A survey on globally possible actions in order to reduce the emissions is provided. Detailed information about Esenboğa Airport and the GSE park of one ground handling company is given in the following section. Using real data collected by the ground handling company in Esenboğa Airport, the total CO₂ emission of the GSE park is calculated on monthly basis. Then a what-if analysis is provided for totally electrical eGSE park. The emissions of the electric and diesel are compared, afterward, the possibility of providing all-electric energy via solar panels which to be placed on representative Esenboğa Airport Terminal building rooftop is discussed.

It has been seen that the indirect emissions of electric GSE depend on the electric production emissions of the country. Besides the electric production, the transfer of energy is also causing emissions which makes the indirect emission figures higher. It is the aim of this paper to investigate the possibility of providing electric energy needed by GSE as much as possible by a sustainable source that is closer to the airport and also enough for seasonal GSE activity fluctuations.

Also, the growing interest in solar electricity production at airports (Sreenath et.al, 2020: 698) led to the investigation of the opportunity to use solar PV to recharge eGSE.

Emissions Produced in GSE Operation

Emissions are produced as a byproduct of fuel burn in internal combustion engines. These are Sulphur oxides (SOx), nitrogen oxides (NOx), carbon monoxide (CO), and particle matters (PM) which are known to be harmful to human health (Winther et al., 2015).

An ICE engine can convert 15 cubic meters of air which is needed for one day of breathing for humans, into a harmful state in only 10 minutes (Marangoz, 2004). Emissions of ICE have been determined to cause a large variety of diseases such as asthma, cancer, diabetics (Stettler, Eastham and Barrett, 2011).

An environmental perspective, emissions from combustion engines also cause global warming by its greenhouse effect. Global warming in turn cause the polar ice to melt and raise the sea level. This is one of the main reasons for the change of seasons which affects human health by means of water resources, agriculture, and food availability (Çelik and Toprak, 2016, Soruşbay 2003).

All aviation-related activities are responsible for 2% of human-produced emissions and 12% of transport-based CO₂ production (IATA, 2013). Airport operations have a share of 5% CO₂ emission among the aviation emissions (Stimac at.al., 2013). On the other hand, it is suspected that aviation operations are related to around 10.000 premature birth per year (Stettler et al., 2011).

GSE emissions take a major part in aviation emissions. Analyses of GSE propulsion system emissions show that these systems have the same emission characteristics as automobiles (Winther et.al, 2015).

A comprehensive study performed on Copenhagen airport including hourly measurement of fuel consumption showed that the GSE consumes 2% of the fuel consumed in all airport operations and 24% of all airside consumptions. Also, the study showed that the NO_x and PM emissions of the GSE are a couple of times the APU and aircraft engine emissions. As an example, at the early hours of the day, GSE produces 3.2 kg NO_x per hour compared to 1.2 kg produced by APUs and 0.5 kg NO_x produced by the aircraft engines. On the PM side, APUs produce approximately 50 gr/hour PM besides, GSE can produce as high as 200 gr/hour PM. In the light of these figures, it can be seen that the GSE can be a more polluting factor compared to APUs and aircraft engines (Winther et al., 2015).

There are some legal mechanisms in order to courage the use of electric GSE at airports. Those are green airport certificates, limitations for use of ICE GSE on some parts of the airport, etc. Currently, there are 35 airports in Turkey which are certificated as “green airport” (SHGM, 2019).

Emission Control Strategies in the Sector

According to EPA report (EPA, 1999) there are some control strategies to reduce the emissions of GSE in both the long and short term. They can be summarized as follows;

- The development of standard requesting low emission for combustion engines used in GSEs.
- Use of LPG or CNG type engines instead of diesel and gasoline type engines in GSE.
- Use of electric power instead of combustion engines.
- Use of bridge-connected systems instead of GSE.
- Installing filters, catalytic converters, and particulate traps for combustion engines.
- Replacement of two stoke engines with four-stroke engines.

This paper concentrates on the replacement of electric power use instead of combustion engines for GSE. The selection of a suitable strategy depends on the GSE usage characteristic per each case. Both the feasibility and cost-effectiveness of emission reduction strategies should be considered.

There are also strategies to replace combustion engines with electric motor and battery systems (Delta, 2013; AA, 2011) and fuel cell energy conversion and electric motor integrated systems. One example is a demonstration project performed by Charlotte company by using 15 electrical tug at Memphis/USA Airport which were used by FedEx, in real loading conditions. The demonstration showed that the system is capable of extreme environmental conditions and even for high load requirements (Petrecky, 2014).

Some companies offer using of tug system during aircraft taxi, in order to reduce Auxiliary Power Unit (APU) and aircraft engine used in airports. By reducing the APU and engine use during taxi, it is reported that a fuel consumption worth 7.3 billion USD and 23 million tons of CO₂ emission would be saved per year. This offer also can be a reduction strategy for aircraft Foreign Object Damage (FOD) that can occur during taxi which is reported as 700 million USD in magnitude yearly (Decoux, 2015). Electrification of baggage tractors can help most with this emission reduction strategy as their utilization is the highest among all the GSE fleets.

Although the industry reports LNG/CNG/Gas power systems are not viable solutions for emission reduction (Decoux, 2015), it is still an alternative and being used at airports (EPA, 1999). Decoux also reports that some applications of tow tractors with hybrid power systems are not found to be cost-effective.

General Information About Esenboğa Airport

Esenboğa International Airport (ICAO Code is LTAC, and IATA Code is ESB) is located in Ankara, the capital city of the Turkish Republic. Altitude is 952 meters (3125 feet). The terminal area is 182,000 square-meter. International and domestic terminals have a 10 Million passengers per year capacity. Two runways (3400 mt. and 3750 mt.), taxiways (Total 4320 mt), and seven aprons are available (www.esenboga.dhmi.gov.tr). There are three A-type ground handling companies operate in Esenboğa which are Çelebi, Havaş, and TGS.

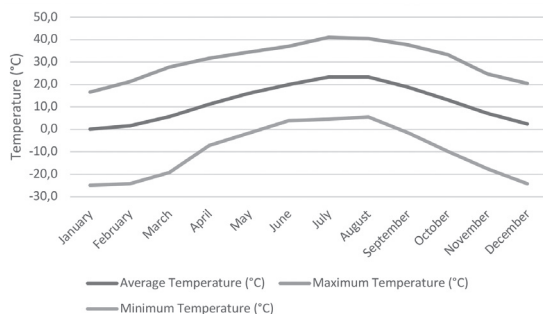
Esenboğa Airport aerial view is presented in Figure 1. The total area of the airport is 10.7 sq km.

Figure 1. General view of Esenboğa Airport



Monthly climate conditions at Esenboğa Airport vary from hot (41 °C maximum) in summer and cold (-24.9 °C minimum) in the winter time. The yearly temperature variation is shown in *Figure 2.* with an average between the years 1927 and 2019 (MGM 2020). As it can be seen, there can be a temperature difference of around 60 °C between winter minimum and summer maximum. The average temperature variation is 24 °C between summer and winter. The GSE equipment and personnel are expected to work under extreme environmental conditions.

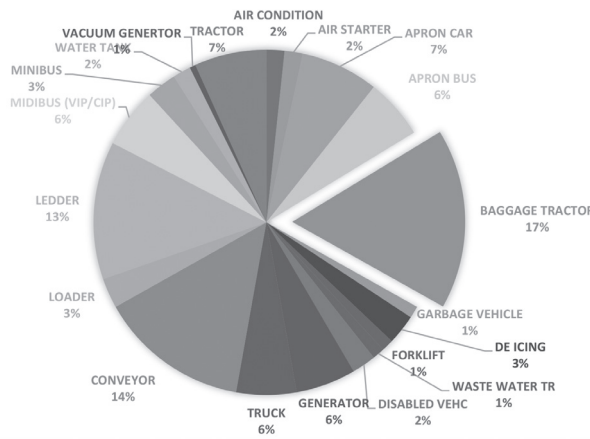
Figure 2. Temperature variations throughout year at Esenboğa Airport (1927-2019)



Monthly Energy Consumption of GSE at Esenboğa

TGS has a fleet of 178 GSE, 21 of them are electric and 157 of them are ICE powered. The general distribution of the fleet according to powertrain type is given in *Figure 3*. It is reported that the 21 pieces of electric GSE consumed a total of 867,068 kWh electric energy in 2018. On the other hand, the ICE-powered GSE fleet used a total of 735,715.17 liters of diesel in 2018. All of the GSE listed in the fleet can be converted and be used as electric-powered GSE (eGSE).

Figure 3. Fleet distribution of ground handling company at Esenboğa Airport



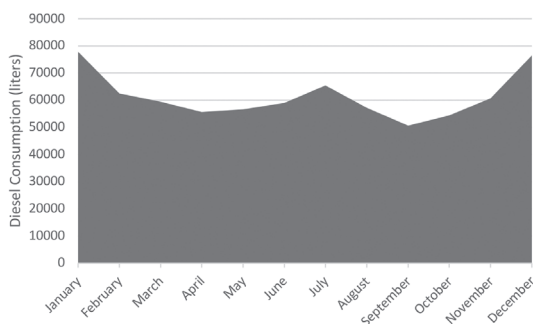
The relative energy content of 1 liter of diesel can be assumed as 35.86 MJ which is approximately 10 kWh. With the assumption of average thermal efficiency of 32% of diesel engines, the overall average energy of consumed diesel oil by GSE can be calculated as 2,354,288.54 kWh equivalent. Monthly equivalent electric energy demand for the GSE fleet using the diesel usage data of 2018 given in *Table 1*.

Table 1. Monthly diesel consumption in 2018 and equivalent electric energy requirement

Month	Diesel Consumption (liters)	Equivalent Electric Energy (kWh)
January	77835.23	249,073
February	62491.18	199,972
March	59378.66	190,012
April	55645.3	178,065
May	56594.76	181,103
June	59018	188,858
July	65431.46	209,381
August	57171.33	182,948
September	50598.28	161,914
October	54393.96	174,061
November	60726.75	194,326
December	76430.26	244,577
TOTAL	735715.17	2,354,290

Table 1. data is given in graph in *Figure 4*. that interpret the demand is not stable during the whole year. There is a high season which can be seen as a peak in July where air traffic is higher. The values also pitch up for the winter season which starts around November and lasts up to March for Ankara when the diesel expenditure gets higher. Taking into account the data given in *Figure 2*. it can be estimated that the higher figures for December and January can relate to cold weather by means of fuel spent for the engine and personnel heating.

Figure 4. Monthly diesel consumption for 2018



Emissions of GSE

In the literature, several studies show a high correlation with the model developed by ICAO. The models for calculating the emission of GSE is provided by ICAO (ICAO, 2011) is as follows:

$$\text{Emission-Y(g/GSE)} = \text{Fuel (Year kg.)} \times \text{Emission Factor-Y (g/kg.fuel)} \times \text{DF} \quad (1)$$

Where DF = Deterioration Factor. As the GSE park of TGS consist of various GSE of various age, all GSE are assumed to be new hence deterioration factor is taken as 1. Using the emission factors, the emissions are calculated per pollutant and are given in *Table 2*.

Table 2. Emission factors of pollutants and calculated emission figures for 2018

Pollutant	Factor (g/kg)	Average total emission (tons)
NO _x	48.2	29.50
HC	10.5	6.43
CO	15.8	9.67
PM	5.7	3.49
CO ₂	3150	1,928.16

Solar Energy (Photovoltaic-PV) Electricity Production

With the advances in technology, mankind is more interested in producing energy from renewable sources. Wind, sea waves, and sun are some of those types of resources. Sun is an important heat source for the earth for billions of years and people now are trying to use its energy in electricity form.

One way of doing this is using cells that convert sunlight into electricity and called “Photovoltaic” or PV in short. In this way, solar cells are composed of semiconducting layers (and when sunlight hits the surface of those cells, electric fields across the layers start the electricity to flow (Tyagi et. al, 2013: 443).

According to Kim (2020:1), in the USA during the last ten years, 20% of public airports started to use solar PV. One of the biggest reasons for that is the energy cost saving in the long run.

The aviation industry is blamed for greenhouse gas emissions and within that context, airports are trying to decrease their carbon footprint. One way of doing that is using renewable and clean energy resources instead of conventional ones (Sukumaran and Sudhakar, 2017: 309).

Monthly Electric Production Capability with the Terminal Rooftop Installed Solar Panels

The rooftop area of the airport terminal building is given in *Figure 5*. The total area of the roof of the terminal building is 27,662 sqm. In this research, although the suitable area of the airport is much bigger, the only terminal building is preferred in order to save the energy transfer investment costs and emissions. Also, most of the field area is used for landing instrument installations. Another reason for offering the terminal building roof is to visualize the order of electric production in such a limited area. It can also be postulated that the bigger the area of the terminal building, the higher the electricity need in that airport.

Figure 5. Esenboğa Airport Terminal Rooftop Area



In addition to the advantage of eliminating emissions generated by the electricity production, the transfer cost and emissions related to the transfer will also be minimized by installing solar panels over the roof of the terminal building, as the electric production will be in the vicinity of the consumption.

Photovoltaic panel efficiencies vary depending on production technology. A research performed in Düzce, Turkey (Nearly 200 kilometers North-West of Ankara) showed that mono-crystalline PV panels' performance ratio is highest (i.e. 91%), followed by polycrystalline (81%) and amorphous silicon (a-Si) (%73) (Elibol et.al., 2017: 651-661). So, it is recommended to use mono-crystalline PV panels in real-life applications in the Ankara region.

The solar energy that can be harvested by solar panels can be defined as;

$$\text{PV capacity (kWh)} = \text{Area (m}^2\text{)} \times \text{average standard irradiance (kWh/m}^2\text{/day)} \times \text{days} \times \text{Efficiency} \quad (2)$$

Ankara has a high solar energy potential (Çağlar et.al., 2013; Yeşilbudak et.al., 2018). The solar energy potential of Ankara is given in Table 3. Using the data provided by Çağlar et.al., the monthly global radiation value is calculated in kWh, using the average figure and multiplying it with the number of days of that month. Then using an average solar panel efficiency of 14%, the energy potential of PV panel installation of 27,000 sqm on the Esenboğa Airport Terminal Building is calculated using (2). The results of the calculation are listed in Table 3.

Table 3. Solar radiation converted to monthly radiation and calculated monthly electric production potential

Month	Monthly average global radiation (MJ/m ² /day)	Monthly global radiation (kWh/m ²)	Roof installation electricity production (kWh)
January	6.28	54.08	204,414
February	9.61	74.74	282,534
March	13.57	116.85	441,704
April	17.30	144.17	544,950
May	21.86	188.24	711,543
June	24.25	202.08	763,875
July	24.91	214.50	810,821
August	21.92	188.76	713,496
September	17.62	146.83	555,030
October	12.13	104.45	394,832
November	7.64	63.67	240,660
December	5.45	46.93	177,398

Daily radiation variations which will also cause variations of electric energy production can be compensated via batteries that can be installed in the stations or the airport building. On the other hand, it is known that aircraft movements are decreased during night time which also reduces the need for GSE utilization.

Electricity Production Mix

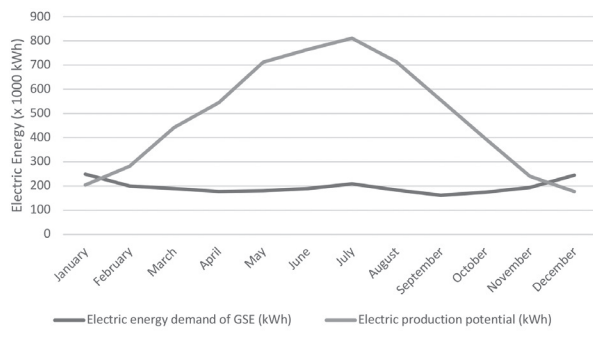
Value for kg CO₂ per kWh of electricity generated for Turkey is given in the literature. The values vary depending on calculation methods. The value presented by the electric production authority of Turkey is used which is 0.67 kg CO₂/kWh for 2012 (EUAS, 2017). It is assumed the value given is not changed in 6 years. With this assumption, the total CO₂ emission to produce 2,354,290 kWh will be around 1,577,374.30

kg. Thus, it can be accepted that, by installing solar panels, this will be the amount of CO₂ saved per year. The figure is calculated by multiplying the 0.67 kg CO₂/kWh with the total electric energy demand calculated in Table 1. The figure given is exclusive of emissions related to transmission. Without the use of a sustainable energy source, the amount of CO₂ emission calculated here (1,577,374.30 kg) will be produced in the vicinity of the electric energy production plant.

Results and Discussion

The comparison of the electric energy requirement of GSE given in Table 2. and electric energy production potential of installed PV over terminal roof given in Table 3. are compared in Figure 6. It can be seen that the low radiation months of January and December fall short against demand but fits very well for the demand for the rest of the year.

Figure 6. Comparison of monthly electric energy demand and production potential at Esenboğa Airport



It can be also said that January and December are cold months and some of the energy spent for heating the diesel engine, which in the case of electric conversion, can be assumed to be required in a lesser amount. Another solution for the shortage can be overcome by storing the electric energy during high solar times and spending at high demand periods.

Solar panel installation in the vicinity of the consumption may also pave the way to investigate the possibility of using tethered GSE which also removes the need for an on-board battery. The removal of the on-board battery would nearly halve the cost of the GSE, which would also make the electric use in ground handling preferable by means of cost reduction.

Airport operators and ground handling companies are different entities. Therefore, in order to achieve renewable energy production and usage in relevant areas of the airport needs close collaboration between them. In order to achieve this collaborative approach towards environmentally friendly airports, regulatory institutions shall take the required steps.

It can also be estimated that the surge electric energy for high radiation months can also be consumed at other parts of the airport.

Economic Assessment

According to Kırıkkale 1st Organized Industry Region Solar Power Production Feasibility Report (Kırıkkale, 2019: 26–27), an investment of 12,171,945 US \$ is necessary for the installation of 20,216,693 kWh/year capacity solar electric production facility. Esenboğa Airport is 54 kilometers away from that region and the same solar conditions are valid here. Using this figure, the calculation for installation of 5,841,257 kWh/year solar electric production facility, an investment of 3,516,868 US \$ is needed. With the economic life duration of photovoltaic panels as 25 years (Kırıkkale, 2019), the annual investment cost is calculated 140,674 US \$/year.

In Turkey, 1 kWh electricity is 0.5827 TL/kWh which is equal to 0,074 US \$/kWh currently. Assuming all economic conditions are stable for 25 years, the cost of buying 5,841,257 kWh from the network for each year is 432,253 US \$/year. The resulting reduction in energy cost is two-third which is approximately equal to 70% cost saving per year, for a period of 25 years.

Conclusion

In this study, the possibility of using solar energy for the charging of electrical Ground Support Equipment (eGSE) in Esenboğa Airport is investigated. Solar radiation data collected by experimental research is used to calculate the solar energy potential. Diesel consumption of the fleet provided by the Ankara station of the largest ground service company is used. Monthly consumption data converted into equivalent electric energy. The results compared with solar energy production potential. According to results, solar energy production falls short of the requirement only in December and January which have the lowest and shortest radiation of the year. As seen from the comparison, powering eGSEs with solar energy, provides important reductions in hazardous emissions. In our representative case study a CO₂ reduction of around 1,500 tons per year.

It is also important to note that producing the electric energy on the site where it is also consumed eliminates electric energy transfer costs and emissions. This production-on-site method is only possible with the collaboration of civil aviation authority, airport terminal operator, and ground support service provider. These are three separate entities and need a means of the collaboration platform. In addition to this, a legislative structure may be needed with the inclusion of energy administrations.

Another important point to note is that a new approach of energy transfer or storage can be discussed for the GSE would be possible if such a production infrastructure can be established. Such as tethered GSE or other means of energy transfer from ground to GSE would make higher cost savings. This approach is immediately possible for preferring cables instead of using diesel generators. The generators mentioned are consuming over one-tenth of all diesel. They are easy to convert to cables only and would reduce over one-tenth of all CO₂ emissions.

In economic terms, an investment of 12,171,945 US \$ for the installation of solar panels for electricity production that would be used a total return on the monthly savings of electric cost will be 291,579 US \$ and at the end of the 25-year period, the sum of the savings will be 7,289,475 US \$. This economic saving will accompany the environmental saving of 50,000 tons of CO₂ emission at the end of the 25-year period. The figures conclude that the investment will be feasible by means of both economic and environmental aspects.

Acknowledgements

The data used in this research is provided by TGS Esenboğa Station.

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

References

- Balat, M. (2004): To Use of Renewable Energy Sources for Energy in Turkey and Potential Trends. *Energy Exploration and Exploitation*, 22. Pp. 241–257.
- Caglar, A.–Yamalı C.–Baker K. B.–Kaftanoğlu B. (2013): Measurement of Solar Radiation in Ankara, Turkey. *Journal of Thermal Science and Technology*, 33. (2.) Pp. 135–142
- Çelik, R.–Toprak, Z. F. (2016): Küresel İklim Değişikliğinin Diyarbakır Kent Merkezi Yeraltı Suyu Seviyesine Etkisi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 7. (2.) Pp. 279–290.
- Decoux, L. (2015): *Green Ground Support Equipment*, TLD.
- MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2020): İllere ait mevsim normalleri, <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> (accessed: 6.12.2020)

- Delta (2013): Delta, CTE Work Together To Reduce GSE Carbon Emissions At ATL. http://www.aviationpros.com/press_release/10943131/delta-cte-work-together-to-reduce-gse-carbon-emissions-at-atl, (accessed: 28 May 2018)
- Elibol, E.–Özmen, Ö. T.–Tutkun, N.–Köysal, O. (2017): Outdoor Performance Analysis of Different PV Panel Types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67. (2017.) Pp. 651–661.
- EUAS (2017): *Karbon Ayak İzi Raporu*. http://www.euas.gov.tr/Documents/Karbon_Ayak_izi_Raporu.pdf (accessed: 8. 11. 2019)
- EPA (United States Environmental Protection Agency), (1999): *Technical Support for Development of Airport Ground Support Equipment Emission Reductions*.
- IATA (2013): *Technology Roadmap*.
- ICAO (2011): *Airport Air Quality Manual*.
- Kırıkkale 1 st Organized Industry Region Solar Power Production Feasibility Report. (2019) Ankara.
- Koch, B. (2010): Aviation Strategy and Business Model. Eds. Andreas Wald, Christoph Fay ve Ronald Gleich. *Introduction to Aviation Management*, Berlin: LIT Verlag.
- Marangoz, M. (2004): İşletmelerin Çevresel Sorumluluğu : Türk Otomotiv Sanayine Yönelik Bir Araştırma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6. (3.) Pp. 75–97.
- Odoni, A. (2009): Airports. P. Belobaba–A. Odoni,–C. Barnhart (Eds.): *The Global Airline Industry*. London: John Wiley & Sons.
- Petrecky, J. (2014): Ground Support Equipment Demonstration, plugpower.
- SHGM (2019): *Yeşil Havalimanı sertifikası sahibi kuruluşlar*. <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/projeler/liste.pdf>, (accessed: 14. 03. 2019)
- Soruşbay, C. (2003): Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. *Mühendis ve Makina*, 564. Pp. 22–26.
- Sreenath, S.–Sudhakar, K.–Yusop, A. F.–Solomin, E.–Kirpichnikova, I. M. (2020): Solar PV Energy System in Malaysian Airport: Glare Analysis, General Design and Performance Assessment. *Energy Reports*, 6. (2020) Pp. 698–712.
- Stettler, M. E. J.–Eastham, S.–Barrett, S. R. H. (2011): Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions. *Atmospheric Environment*, 45. (31.) Pp. 5415–5424. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.07.012>
- Štimac, I.–Vince, D.–Jakšić, B.–El, M. I., (2013): Model of Environment – Friendly Aircraft Handling – Case Study: Zagreb Airport, Pp. 1–12.
- Sukumaran, S.–Sudhakar, K. (2017): Fully Solar Powered Raja Bhoj International Airport: A feasibility Study. *Resource-Efficient Technologies*, 3. (2017) Pp. 309–316.
- Tyagi, V. V.–Rahim, N. A. A.–Rahim, N. A.–Selvaraj, J. A. L. (2013): Progress in Solar PV Technology: Research and Achievement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20. (2013) Pp. 443–461.
- Winther, M.–Kousgaard, U.–Ellermann, T.–Massling, A.–Nøjgaard, J. K.,–Ketzel, M. (2015): Emissions of NO_x, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport. *Atmospheric Environment*, 100(x), Pp. 218–229. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.045>
- Wensveen, J. G. (2007): *Air Transportation: A Management Perspective*. Sixth Edition, Ashgate.
- Yeşilbudak, M.–Çolak, M.–Bayındır, R. (2018): Ankara İlının Uzun Dönem Global Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi ve Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi ve Eğri Uydurma Metotlarıyla Modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6. (1.) Pp. 189–203.

A gesztusalapú technológia helye az oktatásban

Összefoglalás: A gesztusvezérlés, mint feltörekvő technológia új lehetőségeket nyitott a tanulás számára. A gesztusalapú eszközök használata az újonnan megjelenő tanulási technológia (gesztusalapú tanulás) részeként olyan tudományterületekhez kapcsolódik, mint az oktatástechnológia, az oktatástervezés, az ember-számítógép-interakció, a gépi tanulás, a mesterséges intelligencia, a pszichológia, a tudományok tanulása, a pszichometria és a számítástechnika különféle ágai. Ma már létfontosságúak az innovatív interdiszciplináris kutatások és a gesztuson alapuló tanulási rendszereket dokumentáló publikációk. Általuk az oktatók jobban megérthetik, hogyan lehet a gesztusalapú technológiát megvalósítani és hatékonyan felhasználni a tanításhoz és a tanuláshoz különféle oktatási környezetben.

A kutatók és rendszerfejlesztők számára kihívást jelentő kérdés az, hogy a gesztusalapú technológia milyen előnyökkel járhat a tanulás szempontjából. Így e tanulmány egyik célja ennek a kérdésnek a feltárása, illetve a gesztusalapú tanulási módszerrel foglalkozó szakirodalom áttekintése a tanulási eredményekre gyakorolt hatás kontextusában.

Kulcsszavak: Gesztusalapú tanulási rendszer (GBLS); gesztusalapú eszköz; oktatás.

Abstract: Gesture-based devices as an emerging technology have opened up new opportunities for learning. The use of gesture-based enabled devices as part of emergent learning technology (gesture-based learning) is related to disciplines such as educational technology, instructional design, human computer interaction, machine learning, artificial intelligence, psychology, learning sciences, psychometrics, and various branches of computational engineering. Therefore, innovative cross-disciplinary research and related publications that document specific gesture-based learning systems and their

* Szabadkai Műszaki

Szakköziskola

E-mail: helena@vts.su.ac.rs

associated designs are now vital. Once completed, educational researchers can better understand how gesture-based computing can be effectively utilized and implemented for teaching and learning across a wide array of educational settings.

However, how would a gesture-based technology benefit learning is a challenging question for novice researchers and system developers in education. Thus, the aim of this studie is to explore this question.

Keywords: Gesture-Based Learning System; gesture-based device; education.

Bevezető

A digitális erőforrásokkal létrejövő interakció manapság az érintésre, a gesztusokra, és egyre inkább a szem mozgására épül. Számos hétköznapi szórakoztató elektronikai termék ma már tartalmaz érintés-alapú interfészeket: az e-könyv olvasóktól a táblagépeken át, a személyi számítógépektől kezdve az autó GPS-rendszereikig. [1] A kérdés az, hogy milyen előnyökkel járnak ezen új interakciós formák a tanítás szempontjából?

Az IKT-eszközöket [2] évek óta használják az oktatás területén. A modern oktatási korszakban a számítógépek minden osztályterem alapvető elemévé váltak. A gesztusalapú eszközök, mint feltörekvő technológia új lehetőségeket nyújtanak a tanulás terén. Sajátosságaik lehetővé teszik a felhasználó számára, hogy kontrollerként közvetlen kapcsolatba lépjen a számítógéppel mozdulatok és mozgások által, még hozzá oly természetes módon, mint ahogy azt a mindennapi életben teszik. [3] Az interakció a beszéd, a gesztus, ujj-és kézmozdulat, arckifejezés és a szemmozgatás útján valósulhat meg. [3]; [4]

Az elmúlt években számos kutatást végeztek a gesztusalapú tanulási rendszer (GBLS) használatának és előnyeinek kivizsgálására, viszont a tanulási eredményekre gyakorolt hatás vizsgálata még mindig kevés. [5] A pszichológiai tanulmányok rég kimutatták, hogy a gesztusok befolyásolják a tanulás módját, azt ahogyan gondolkodunk és észleljük a világot. Nagyszámú tanulmány kimutatta, hogy a gesztusalapú tanulási rendszer módszere pozitívan befolyásolja a hallgatók teljesítményét, az élvezetes és interaktív tanulási környezet megteremtése által. [6]; [7]

Noha a kezdetben a gesztusalapú technológia nagy mértékben a játékokban és a mobileszközökben kapott helyet, a tanulási célok könnyebb és érdekesebb elérésének a lehetősége a közelmúltban óriási érdeklődést váltott ki az oktatók körében. [7] A technika alkalmazásai és fejlesztése az oktatás minden területén folyamatosan bővül. Ezekkel az eszközökkel végzett kutatások és az innovatív tanítási módszerek bevezetése számos területen növekszik, mint a gyógypedagógia, a fizika, a matematika, a fizioterápia, a művészetek, a zene, a tudomány, az írástudás és a társadalmi fejlődés. [3] Az oktatáskutatók a gesztusalapú eszközök különböző hatásait vizsgálják: a természetes bemenet hatását, illetve azt, hogy milyen hatással

lehetnek a tanulás más aspektusaira, például a memóriára. [8] Újszerűsége és széles körű alkalmazási lehetőségei miatt a gesztusalapú tanulás nagyon érdekes az oktatók, az ezzel foglalkozó szakemberek és a kutatók számára egyaránt. A gesztusalapú technológia az oktatás területén interdiszciplináris együttműködést és innovatív gondolkodást igényel.

A számítógéppel való együttműködés új módja

A közelmúltban az információval való interakció új módjai széles körben elérhetővé váltak számos technológiai fejlődés eredményeként. Az érintés ma már sok eszköz fontos jellemzője. A gomb vagy a képernyő megnyomását manapság már úgynevezett „haptikus visszajelzéssel” nyugtazzák (rövid rezgés jelzi a parancs beérkezését). Ezenkívül napjainkban gyakran alkalmazzák a többérintéses parancsokat (multi-touch) a telefonok, táblagépek és más eszközök manipulálására. Az ujjak csúsztatása az objektumok mozgatásához a képernyőn, a kicsinyítéshez vagy nagyításhoz, és a bonyolultabb többujjas érintéskombinációk példák az eszközökkel való kölcsönhatás meglehetősen újszerű módjai. Az újabb asztali számítógépek és laptopok egyre inkább rendelkeznek beépített érintőképernyővel a tartalom manipulálásának további módjaiként. [1]

Az ember és a számítógép közötti interakció (human-computer interaction) két fő paradigmaváltáson ment keresztül az elmúlt három évtizedben: a parancssori interfészekről (Command Line Interfaces – CLIs) a grafikus felhasználói felületekig (Graphical User Interfaces – GUIs). A közelmúltban nyilvánvalóvá vált egy harmadik paradigmaváltás, amely a természetes felhasználói felületeken (Natural User Interfaces – NUI) alapul. [9] E felületeknek célja, hogy a felhasználók természetesebb módon kommunikálhassanak a számítógépes rendszerekkel, hasonlóan a való világban végzett tevékenységünkhöz [10]; [11] ezt olyan felhasználói felületként definiálta, melynek célja a meglévő készségek újrahasznosítása, a tartalommal való közvetlen interakcióhoz. Az IKT támogatja a természetes felhasználói interakciókat, abból a célból, hogy a hagyományos interfészek helyett, különféle interakciós formák épülhessenek be az eszközökbe, például multi-touch, szemkövetés, hang, gesztusok, kézírás stb. [4]

A gesztusalapú interakció (gesture-based interaction) egy kifejezetten gyorsan fejlődő terület. Más néven gesztusalapú számítástechnikaként (gesture-based computing) ismert, amely az emberi testet használja fel beviteli eszközként. [12] Lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy sokféle eszközzel, például mobiltelefonokkal, táblagépekkel, játékkonzolokkal vagy számítógépes rendszerekkel lépjenek kapcsolatba. A kölcsönhatás például mozgásérzékelők, adatkesztyű vagy gravitációs érzékelőn keresztül valósul meg, természetes felhasználói felület által. A gesztusalapú technológia alkalmazása nem csak a test, hanem a kognitív dimenzióra gyakorolt lehetséges hatásra is összpontosít. [12]

Szóval, a gesztusalapú interakció egy testalapú interakció a számítógéppel, amely különböző érzékelők, például gravitációs, infravörös és strukturált fényű 3D-érzékelő használatával válik lehetővé, és a következő funkciókat biztosítja [3]: gesztus- és hangfelismerés; helyzet, gyorsulás és irány; vizuális jelzők olvasása; rázás, forgatás vagy mozgás reakció; lehetővé teszi, hogy a test és a kéz beviteli eszközökként működjenek. E funkciók által megváltozik a számítógéppel való interakció. A kézmozdulatok vezérlőparancsként történő használata növelheti az inger-válasz kompatibilitást, amely jobb érzéket adhat a felhasználónak a közvetlen manipulációhoz. A természetes felhasználói felület által a testi bevitel, beleértve a gesztusokat és a járást, felhasználható például egy avatar vezérlésére, ami azt a látszatot kelti, hogy a felhasználó személyesen a virtuális környezetben jár. [12] A vezérlőbemenet és az ebből fakadó effektus leképezése intuitívabb, közvetlenebb és kompatibilisebb a természetes felhasználói felületen, mint a hagyományos interfészeknél.

Az *iPhone*, az *iPad*, a *Nintendo Wii*, a *Microsoft Xbox 360 Kinect technológia* és más gesztusalapú eszköz és szoftver fizikai mozgások formájában fogadják a jeleket, ideértve a kopogtatásokat, érintéseket vagy olyan mozdulatokat, amelyek lehetővé teszik a felhasználó számára a rendszer irányítását. 2019 januárjában a Szövetségi Kommunikációs Bizottság (the Federal Communications Commission) jóváhagyta a *Google Project Soli* érzékelő technológiáját, amely miniatűr radart használ az érintés nélküli gesztusok észlelésére. A jóváhagyást követően a Google gyorsabb ütemben fejlesztheti a gesztustechológiát.

A gesztusvezérlő technika már megtalálható különféle alkalmazásokban: például a dél-afrikai *O. R. Tambo* nemzetközi repülőtéren (*O. R. Tambo International Airport*). Egy kávéipari vállalat olyan gépet telepített, amely elemzi az utazók arcmozdulatait és automatikusan kiad egy csésze kávé, amennyiben ásítást észlel valakinél. A *Samsung TV* támogatja a mozgásvezérlést a csatornaváltásnál, a játékoknál és az internet használatnál. A *Leap Motion* eszköze lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy kézmozdulatokkal irányítsa a számítógépet vagy a laptopot. A *BMW* célja, a gesztusvezérlés által, a zavartalan vezetés elősegítése. A *BMW* technológiája innovatív, és biztosítja a vezető biztonságát és kényelmét. Egyszerű kézmozdulatokat használva különböző műveletek végrehajtása végezhető el: hívás fogadása vagy elutasítása, hangerő szabályozása, a visszapillantó kamera szög módosítása, illetve egyéni beállításokra is lehetőség van.

A mozgás egy olyan fejlemény, amely lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy a telefonjukat irányítúként használják, vagy fejfelé fordítsák az eszköz kikapcsolásához. A beépített gyorsulásmérők felismerik, azt amikor a felhasználók megdöntik telefonjukat, amivel a képernyőn lévő objektumokat mozgathatva, növelhetik vagy csökkenthetik a hangerőt stb. [1]

A *Microsoft Kinect* technológiája például felismeri a játékosok mozgását, lehetővé téve számukra, hogy testüket felhasználva irányítsák a játék karaktereit és tárgyait. A gesztusvezérlés a mobil eszközökbe is beépül, lehetővé téve a felhasználók számára, hogy a képernyőn keresztül integressenek, be vagy kikapcsolják a hangot, vagy webkamerákka váljanak. Az újabb fejlemények közé sorolandó, például a *Leap Motion* gesztusfelismerő rendszere, amely felismeri az egyes ujjmozdulatokat, és lehetővé teszi a gépelést vagy rajzolást a kéz levegőben tartásával a képernyő előtt. [1]

A tekintetkövetéses (*Eye-tracking*) kutatások azt mutatják, hogy lekövethetők a kognitív folyamatok hiszen követni lehet, hogy például milyen szempontokra figyelnek a felhasználók. Noha ez a technológia még mindig gyerekcipőben jár, a tekintetkövetés fejleményei jelentős ígéretek mutatnak abban, hogy a felhasználók egyszerűen kezelhetik a képernyőn megjelenő tárgyakat úgy, hogy a szemüket egy adott pontra összpontosítják (<http://www.tobii.com>). [1]

A gesztusok bevitelén túl a gesztusalapú technológia gyakorlati tanulási lehetőségeket is kínál. Mivel a gesztusok és a testmozgás jelentik a fő szerepet, a technika lehetővé teheti vagy segítheti a fizikai tanulást, kezdve a rehabilitációtól, a testneveléstől és a fizikai erőnlétől. Ezenkívül a test bevonása a tanulási tevékenységbe megnövelheti a tapasztalati tanulást. A gesztusalapú technológia lehetővé teszi a hallgatók számára, hogy aktívan és fizikailag részt vegyenek a tanulásban.

A gesztus előnyei

Az emberek gesztusokat használnak, amikor nem tudnak szavakba önteni egy-egy kifejezést. A hallgatók is gyakran gesztusokkal kommunikálnak, melyekkel gondolataikat próbálják közvetíteni a tanárok felé. [13]; [14]. A gesztusok alternatív módjai a tudás és az ötletek kifejezésére [15], sőt a tudás befogadására is tanáraik gesztusaik által. [16] Alibali és munkatársai (2014) tanulmánya szerint a tanárok gesztusokkal erősíthetik oktatási feladataikat, ezzel segítve a hallgatóikat ötleteik összekapcsolásában és a bonyolult fogalmak egyszerűsítésében. Ezen kívül a gesztusok használata a tanulás során elősegíti a hallgatók jobb tanulását a tananyag megértése és a problémamegoldás szempontjából. [17] Folyt néhány kísérlet a gesztusok értékének vizsgálatára a tanulás során, ahol összehasonlították azokat a hallgatókat, akik a gesztusokat alkalmazták, miközben új koncepciót tanultak, olyan csoporttal ahol kizárólag a kommunikációt alkalmazták. E kísérletek eredménye is rámutatott a gesztusok előnyére, hiszen bizonyítottan több tudást sajátított el a csoport, amelyben a gesztus is célzott alkalmazásra került. [18]; [19] Ebből kifolyólag a hallgatók ösztönzése a gesztusok használatára a tanulás során pozitívan befolyásolhatja tanulási eredményeiket.

A gesztusalapú tanulás

A *Kinect*-érzékelőt 2010 novemberében adta ki a *Microsoft* az *Xbox 360* játékkonzol részeként, amely példa az első vezérlő nélküli videojáték-konzolra. A „*Te vagy a vezérlő*” szlogennel hirdették. [20] A *Kinect* alkalmazását a tanulásban különböző fogalmakkal definiálták, mint például *Kinect* az oktatásban, termé-

szetes felhasználói felület (*natural user interface*), gesztusos felületek a tanulásban és a *Kinect* által vezérelt tanulás. [21]; [22]; [23] A *Microsoft* mozgásérzékelő szenzorja lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy fizikailag és kognitív intuitív módon vegyenek részt virtuális tevékenységekben. A felhasználók a testüket használják az egér és a billentyűzet helyett a feladat végrehajtására. [12] A *Kinect* számos fejlett természetes felhasználói felület funkciót is kínál, mint például a kimondott parancsok vagy bemutatott objektumok, arckövetés és beszédfelismerés. A *Kinect*-játékok oktatási előnyük mellett elősegítik a testi fejlődést, hiszen fizikai tevékenységet igényel a játszásuk. [24] Ezenkívül a *Kinect*-játékok olcsónak tekinthetők, ha összehasonlítjuk őket más tanulási technológiákkal [23], hiszen a *Kinect*-alapú tanulási alkalmazások többsége nyílt forráskódú és ingyenesen elérhető.

A gesztusalapú tanulási rendszer a *Kinect* felhasználói felületeit használja, hogy élvezhető és interaktív tanulási környezetet teremtsen bármely tanteremben [23]; [3] A rendszer olyan oktatási technológia, amelyet világszerte egyre több oktatási rendszer alkalmaz. A kifejezést a gesztusalapú felhasználói felület, az oktatási és tanulási eszköz használatának leírására alkalmazzák. [5] E rendszerek alkalmazása előnyös lehet mind a tanárok, úgy mind a tanulók számára [23], hiszen az interakciós felület serkentheti a hallgatói motivációt úgy, hogy leköti a hallgatók figyelmét. Ezek a multimodális rendszerek megkönnyítik a kineziológiai kölcsönhatásokat és összehangolják azokat a hallási és a vizuális információkkal. Ennek a három különböző bemeneti módnak az összehangolása teszi a gesztusalapú tanulási rendszert kiváló eszközzé mind a vizuális, mind az auditív, de különösen a kineziológiai tanulási stílusú hallgatók számára. [24]

A gesztusalapú technológiával, mint különböző oktatási célokat lehetővé tevő vagy segítő technológiával, számos tanulmány foglalkozott: tantermi oktatás [21], memóriánövelő [8], fizikai rehabilitáció/terápia [25], testnevelés [26], és nyelvtanulás. [27]; [28]

A gesztusalapú tanulási rendszerek számos előnyt jelenthetnek az osztályteremben, mivel egyedülálló interakciós módszert kínálnak a tananyaggal [22]. Ezen felül az eszközök használatának egyik legfőbb oka a megfizethetőség és számítógépes programozási tudás nélkül is alkalmazhatók. [7] Az esetek többségében igen kis mértékű módosítást kell végrehajtania a pedagógusnak, hogy használni tudják az eszközt a tanórán.

Néhány tanulmány, amely komplex kognitív és procedurális típusú tanulást igénylő tárgyakat tartalmaz bemutatja, hogy a tanulási rendszerek testre szabhatók vagy megtervezhetők úgy, hogy kifejezetten a tanulás igényei és céljai kielégítését szolgálják. [7] Ide sorolandók az orvosi képzésben alkalmazott eszközök (például a mellvizsgálati eljárás), az építészet tervezési elemeinek feltárása vagy a gyártáshoz kapcsolódó összeszerelés/szétzerelés.

Egy másik érdekes csoport a tanuláshoz szükséges (digitális) kézzelfogható tárgyakból áll. Az ezekben a tanulmányokban használt és leírt tanulási rendszereket speciális igények és tanulási célok kielégítésére hozták létre. Például egy óriási fog és fogkefe a gyerekek fogmosási szokásra való tanítására [29], valamint különféle tárgyak, amelyek a gyermekek cselekedeteire reagálnak a dallamok és tempó tanulására a zene-tanulás során [30], vagy a speciális oktatásban alkalmazott „*Wii-terápia*”.

Habár az oktatási technológiák eltérőek lehetnek, ugyanazt az elképzelést erősítik: a testmozgáson alapuló tanulást (*embodiment-based learning*), amely alatt az érthető, hogy a testmozgás formálja a megismerést, illetve hogy a megismerés a külvilággal kölcsönhatásban álló testek révén fejlődik ki. Több kutatás is bizonyította a megtestesült interakciók lehetséges előnyeit a tanulás és a testi fejlődés szempontjából. [31]; [32]; [33]; [34]

A gesztusalapú tanulási rendszerek tervezését és fejlesztését körbe ölelő tanulmányok területei eltérőek. Ide tartoznak az orvostudomány, a zene, az autizmus, mint speciális oktatási forma, a feldolgozóipar, az építészet stb. [7] A gesztusalapú eszközök közé tartozik az adatkesztyű, mozgáskövető, haptikus visszacsatolás és virtuális valóság (VR). Az építészetben az eszközök tartalmazznak érzékelőket, címkéket, kamerákat, projektorokat stb. Az orvosi képzésben az elsődleges eszközök közé tartoznak a fizikai mellszimulátorok és a VR.

Tanulási eredmények

Az, hogy milyen hatással vannak az ilyen típusú interakciók az oktatásra bizonyos mértékig még ismeretlen terület.

A gesztusalapú tanulási rendszerek stimuláló eszközként működhetnek, ami hozzájárulhat a hallgatói motiváció fokozásához, mivel a rendszer egyedülálló és természetes interakciós módszert alkalmaz. A multimodálisnak köszönhetően, amely képes megkönnyíteni a kinesztetikus interakciókat és összehangolni azokat a hallási és a vizuális információkkal. Az e három különböző bemeneti-modalitás összehangolása miatt a rendszer kiváló tanulási módszer, amely támogatja a különböző tanulási stílussal rendelkező hallgatókat [23]. Még egy nagy előnye a fizikai fejlődéssel kapcsolatos. O'Hanlon (2007) tanulmánya kimutatta, hogy a gesztusalapú tanulási módszer segítheti a túlsúlyos hallgatókat azáltal, hogy fizikai tevékenységet, aktivitást igényel. Egyes kutatások szerint a hallgatók jobban tanulnak amennyiben a kognitív feladatokat fizikai mozgásokkal kombinálják. [21]

Interaktivitás

Az osztálytermi interaktivitás a tanárok által az osztálytermi tevékenységek felett gyakorolt kontroll szintjével mérhető. Más szavakkal, az osztálytermi interaktivitás a tanár által alkalmazott módszertantól függ; legyen szó tanár- vagy tanulóközpontú tanulásról. [35]

A tanárközpontú pedagógia a hagyományos tanulási módszert képviseli, ezzel szemben a tanulóközpontú tanulás több lehetőséget kínál a hallgatói részvételre, az ismeretek tartalmának elemzésére és rendszerezésére. [36] A hallgatók közötti interaktivitás elmélyíti a tudást, elősegítheti a kreativitást, esélyt ad az osztálytermi tevékenységekben való aktív részvételre, és számos hallgatói puha készség fejlesztésére szolgál, mint például a problémamegoldás, a kritikus gondolkodás, és a kommunikáció. [37]

A tanulóközpontú tanulás a konstruktivizmus tanuláselméletén alapszik, amely szerint a hallgatók tapasztalataik és az új ötletek kölcsönhatásából tanulnak. [36] Manapság egyre gyakoribb a technológiák jelenléte az osztálytermekben a tanulóközpontú tanulási módszerek elősegítésére és az interaktivitás támogatására. A gesztusalapú tanulási rendszerek alkalmazása elősegítheti az interaktivitást az osztályteremben. [38] A rendszer egyszerre több felhasználót képes fogadni, amivel ösztönzi a kollaborációt. [23]

Multimodalitás

A multimodalitás az oktatás területen olyan tanulási környezetre utal, amely megkönnyíti a tananyagelemek bemutatását több mint egy-szenzoros módszerrel (vizuális, auditív, hangzásbéli, írásbeli és kinesztetikus). [39] A tananyagok különféle módon történő bemutatása általában a tanulói figyelem felkeltését eredményezi. [39] A multimodális tanulási környezet elsődleges előnye, hogy lehetővé teszi a hallgatók számára a tanulást a számukra megfelelő módon. [40]

A gesztusalapú tanulási rendszere multimodális tanulási környezetet biztosít, amely szinte minden tanulási stílussal rendelkező egyén tanulását megkönnyítheti. Más, a kinesztetikus tanulási stílust figyelmen kívül hagyó tanulási technológiákkal ellentétben a gesztusalapú lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy testmozgásuk segítségével kölcsönhatásba lépjenek a tananyaggal. [23]

A megtestesült kogníció

A megtestesült kogníció (*embodied cognition*) elméletben rejtőzik az alapja, a testünk elménkre gyakorolt hatásának magyarázata. [12] Az elmélet azt sugallja, hogy az eszközzel való manipulálás és az interakció megváltoztatja a gondolkodásmódunkat és megértésünket, és ez a változás hatással van a környezetünk érzékelésére. Más szavakkal, a megtestesültkogníció-elmélet azt állítja, hogy az emberek a testükkel megtanulják kiegészíteni az agyukat. [41]

Néhány tanulmány hangsúlyozza a fizikai gesztusok és a kognitív feladatok kombinációjának pozitív hatását a tanulásra. [42]; [43] A megtestesült- kogníció-elmélet szerint az elménkre hatással lehet a cselek-

vési tapasztalat. Hosszú távon a cselekvési tapasztalatok hatással lehetnek a világról alkotott felfogásunkra. Rövid távon minden cselekvési tapasztalat továbbra is hatással van a tanulásra és a fejlődésre az egész életen át. Ez összhangban van a tapasztalati tanulás koncepciójával is, amelyet Dewey (1938) javasolt.

Mivel a gesztusalapú technológiák főleg gesztusokat vagy testmozgást foglalnak magukban, a megtestesült kogníciót széles körben alkalmazták a tanulásra gyakorolt fizikai hatás támogatására. A megtestesült kogníció az „észlelés, cselekvés, a test és a környezet közötti kölcsönhatásra” összpontosít [44], amely eltér a hagyományos perspektívától, ahol a testnek alig van szerepe a megismerésben. A megtestesült kogníciót feldolgozó tanulmányok a cselekvések különböző szerepét figyelték meg a kognitív folyamatokban, és azt sugallják, hogy az emberi elme szorosan kapcsolódik a szenzomotoros tapasztalatokhoz. [45]

A megtestesült (*embodied*) és kiterjedt (*extended*) kognitív elmélet [46] szerint a megismerés eleve kapcsolódik a testi érzésekhez, és a környezettel való kölcsönhatás kulcsfontosságú szerepet játszik a tanulásban, még az absztrakt kognitív feladatokban is.

A memória verbalizációja könnyebb, ha a tanulási testtartást vesszük fel a visszahívás során. A megtestesült interakció (*embodied interaction*) egyfajta szociokognitív cselekvés, amelyet az érintés és a gesztusos interfészek képesek támogatni.

Kuznetsov, Dey és Hudson (2009) hordható karkötőket alkalmaztak, amelyek különböző haptikus impulzus-aláírásokat térképeztek fel új koncepciókhoz. Amikor ezekkel a koncepciókkal később találkoztak, a megfelelő haptikus jelek visszajátszódtak, ami elősegítette a felidézést és a felismerést. A visszajelzések különösen a memóriazavarral küzdőknek nyújtottak segítséget.

A gesztusalapú eszközök alkalmazási köre az oktatásban

A kutatók és rendszerfejlesztők számára kihívást jelentő kérdés az, hogy a gesztusalapú technológia milyen előnyökkel járhat a tanulás szempontjából. A gesztusalapú eszközöket számos oktatási területen alkalmazzák, ilyenek a gyakorlati képzések, munkahelyi segítségnyújtás, segítő eszközök a mindennapi használatra, illetve rehabilitáció.

A gesztusalapú számítástechnika potenciálisan transzformatív technológia (*transformative technology*) lehet, mivel a tanulás médiumaként történő felhasználása megváltoztathatja attitűdjeinket és elősegíti az aktív tanulási módszereket.

A „Wii-terápia” eszközök és a hasonló termékek a fizikai és kognitív nehézségekkel küzdő tanulók számára óriási segítséget jelentenek a mindennapi motoros készségek, a konkrét munkakörülmények, a rehabilitáció és más készségek tekintetében. [47] Burke és munkatársai (2010) az *iPhone*-okat és más kiegészítő eszközöket olyan teljesítmény-támogató rendszeré alakították, amelyek elősegítik egy készségsorozat

megtanulását az összetett feladatok egyszerűsítésével és jelzések biztosításával (*just-in-time* támogatás). Petersson és Brooks (2007) robotkészülékkel és kamerával olyan környezetet terveztek, amely lehetővé teszi a gyermekek (4–6 évesek) számára a játékterápiát. Az *Exergame*-et a speciális oktatásban is alkalmazták a fizikai tevékenységek elősegítésére. [48] Ezek a tanulmányok azt mutatják, hogy a gesztusalapú eszközök ezen alkalmazásai pozitív hatással vannak a fizikai vagy kognitív nehézségekkel, illetve mindkettővel rendelkező hallgatók tanulási eredményeire. Az alkalmazott technológia elsődleges célja a teljesítménytámogatás azáltal, hogy különböző jelzésekre, azonnali visszajelzéssel (*just-in-time*) nyújtanak információt, amelyre a feladatok végrehajtása során szükség van. Egy másik előnye az adaptív és segítő technológia a tanuláshoz.

Érdemes észre venni, hogy a gesztusfelismerő technológia jóval több, mint amit a *Nintendo Wii* nyújt a testmozgás terén – a játékkörnyezetek olyan tevékenységeket népszerűsítene és fejlesztenek, amelyek javítják a szociális készségeket, magukban foglalják a csapatmunkát, és lehetővé teszik a felhasználók számára, hogy kollaboratív módon oldjanak meg problémákat. Mindez a tanulóközpontú tanítási módszer alkalmazását jelenti, ahol a hallgatón, és nem a tanáron van a fókusz. [49]

A gesztusalapú technikai eszközöket a természettudományi és a matematikaoktatás terén is alkalmazzák, leginkább a fizikai, kémiai és matematikai tantárgyakhoz kapcsolódóan. [7] Ezek a szimulációt és a digitális manipulációt biztosítják a tanítás, tanulás folyamán. [50] Általánosságban a szimulációkból, a digitális manipulációkból és a kísérletekből tevődnek össze a gesztusalapú oktatási eszközök a természet-tudományos oktatás területén.

Az alkalmazások között megtalálható olyan is, amely az érzelmek tanulásában, a társadalmi viselkedésben és az együttműködés elősegítésében játszik nagy szerepet. [51]; [52] Tore és munkatársai (2012) a *Kinect*-et, a vizuális-motoros játékot, alkalmazták az ötödik osztályos tanulók integrációs képességek javítása érdekében. A *Kinect*-technológia önmagában is a tanulás egyik módja lehet. A gesztusalapú technológia olyan közegnek tekinthető, amelyben a hallgatók interaktív, aktív tanulási módon tanulhatnak, nem pedig egyszerűen a tananyagok lejátszásának vagy elérésének eszközeként jelenik meg.

Az idősebb tanulóknál a „*Wii Fit*” alkalmazták Grieser és munkatársai (2012) az egyensúly gyakorlására. A technológia alkalmazásakor a testmozgás és a további tevékenységek automatikus naplózásra kerülnek, miután összehasonlíthatók. Az adatokat további oktatási stratégiákra is fel lehet használni, például teljesítmények bemutatására, játékos versenyek szervezésére a hallgatók között, és a gyakorlatok egyes részeinek a vizualizálására. [7] A gyógypedagógiai „*Wii-terápia*” és a testneveléshez kötődő „*Exergame*” között szoros párhuzam áll fenn. Ezek a gesztusalapú tanulási rendszerek vagy oktatási megközelítések hasonló okokból hatékonyak: megfizethetőségük és a használatukhoz és fenntartásukhoz szükséges alacsony technikai készségek igénye. A hallgatók ismerik az eszközöket, és kisebb módosításokkal vagy módosítások nélkül oktatási technológiává (vagy segítő technológiává) alakíthatók. Nincs szükség magas szintű programozási ismeretekre a rendszer futtatásához.

Ezek az eszközök gyakran további motivációt és tanulói elköteleződést biztosítanak. Az iskolákban ezek a mozgásérzékelő eszközök hasznosak lehetnek a közös képernyőkön és együttműködési platformokon alapuló terekben.

Eddigi kutatások

Számos tanulmány szerint a gesztusalapú technológiák hozzájárulhatnak a hatékony tanulási környezet elősegítéséhez. [53]; [54]

Az elmúlt években nagyszámú empirikus tanulmány készült, amely a gesztusalapú tanulási rendszerek fejlesztésére és tesztelésére irányul. Különböző oktatási területeken használták, beleértve a fizikát, a matematikát, a zenét és a művészetet, a természettudományt, a társadalmi fejlődést és a fizikoterápiát. [7] Ezenkívül néhány kutatás tanulmányozta a gesztusalapú tanulási rendszerek hatását az egyes tanulási szempontokra, például a memóriára és a fizikai rehabilitációra [8]; [47] A *KinectEDucation* (<http://www.kinecteducation.com>) egy nem kereskedelmi platform a gesztusalapú tanulási rendszerek összes érintettje számára, beleértve a tanárokat, hallgatókat és szoftverfejlesztőket [55] [23] szerint a gesztusalapú tanulási rendszerekben nagy potenciál rejtőzik.

Úgy gondoljuk, hogy a közeljövőben ez a tanulási technológia az osztálytermek fókuszában fog állni, hiszen a *Kinect*-technológia számos olyan tulajdonsággal rendelkezik, amelyek alkalmassá teszik az oktatás területén történő alkalmazásra.

A gesztusalapú tanulási rendszerek hatékonyságáról több tanulmány számolt be. [5]; [56]; [21]; [57]; [58]; [59]

A rendszerek jellemzői (az interaktivitás és a multimodalitás) olyan oktatási tanulási környezetet hoznak létre, amely pozitívan befolyásolja a hallgatók belső motivációját, ami a tanulási eredmények javításához vezethet. [24]

A gesztusalapú interfészek használata tanulási módszerként megjelenik Chang és munkatársai (2013) tanulmányában, ahol a gesztusok és a testmozgás hatását tesztelték a tanulás során a *Kinect* segítségével. Az eredmények alapján a résztvevők jobb megértést és magasabb szintű információfeldolgozást mutattak a *Kinect*-alapú tanulási módszerrel. E mellett a hallgatók több információt tudtak felidézni a szokásos tanulási módszert alkalmazott hallgatókhoz képest.

A haptikus visszacsatolást is több helyen alkalmazták: például repülési szimulációnál [60], a fogászat és a középiskolai fizika órák területén. [61] Különösen ígéretes ez a technológia a visszajelzések tekintetében. Bebizonyosodott, hogy a gyakori visszajelzések jelentős hatással vannak a tanulásra, de a feladat teljesítése során adott visszajelzés zavaró lehet, akár egy tanár adja meg szóbeli észrevételekkel, akár egy számítógép

a képernyőn megjelenő üzeneten keresztül. Egy erre a célra használt eszköz rövid rezgése az egyik módja annak, hogy például a válasz helytelen volt. Illetve haptikus visszajelzést lehet adni, valahányszor a hallgató megfelelő választ ad. [1]

Hwang és Cho (2012) ezt a technológiát használta az intonáció tanítására.

Wolski és Jagodziński (2019), a lengyel Adam Mickiewicz Egyetem kutatói, középiskolás tanulók körében vizsgálták a teljesítményt. A tanulók a *Microsoft Kinect* gesztusteknológiával felszerelt virtuális kémiai laboratóriumot használtak. A kutatók azt feltételezték, hogy a virtuális laboratóriumot használó tanulók jobban meg tudták oldani az összetett laboratóriumi feladatokat és, hogy a kézmozdulat-technika oktatási célú felhasználása megkönnyíti az együttműködést.

A gesztusteknika jövője biztosnak tűnik: a *Grand View Research* (<https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-gesture-recognition-market>) becslései szerint a globális gesztusfelismerő piac 2025-re közel 31 milliárd dollárt fog elérni, szemben a 2017. évi 6,2 milliárd dollárral.

Metodológia

A tanulmány célja a gesztusalapú technológia szakirodalmának feltárása, különös tekintettel az oktatásra. E mellett a hallgatói vélemény feltérképezésére került sor a technológia ismeretéről, a tanulási eredményekre gyakorolt hatásáról és az esetleges fejlesztési szándékról. A felmérésben a Szabadkai Műszaki Szakfőiskola első és másodéves informatika szakos (Informatika, Műszaki informatika és Internet és elektronikus ügyvitel) hallgatói vettek részt.

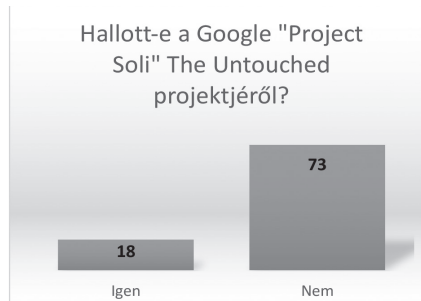
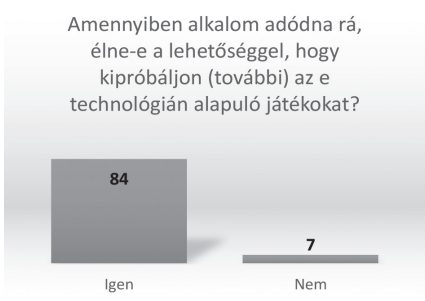
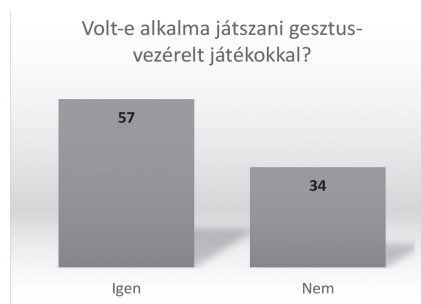
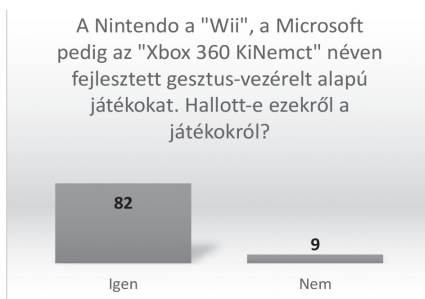
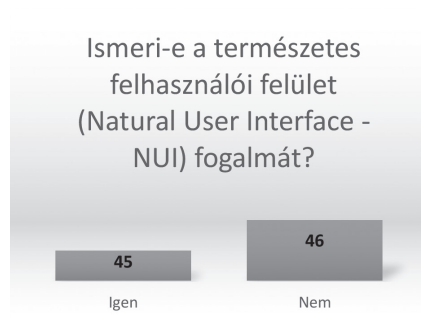
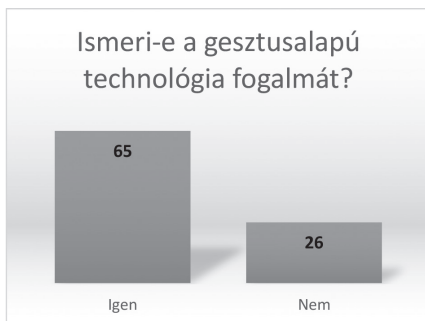
ADATGYŰJTÉS ÉS ELEMZÉS

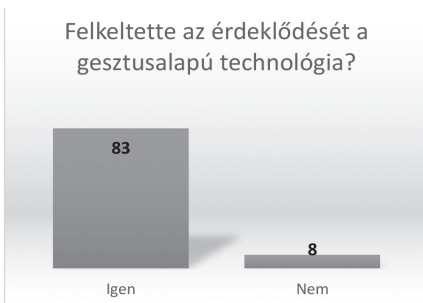
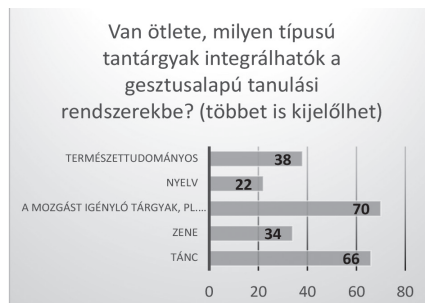
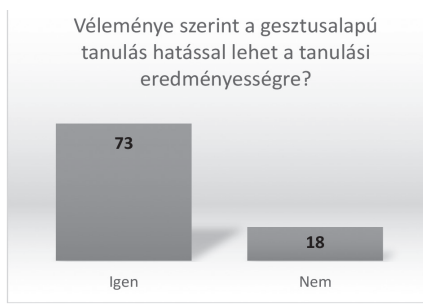
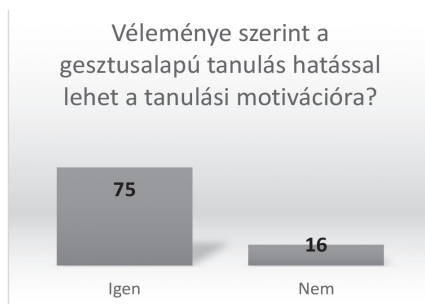
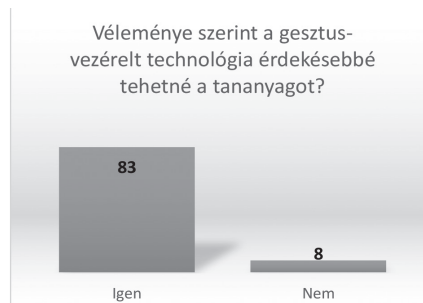
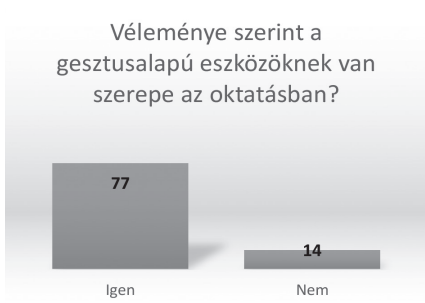
Az adatgyűjtés egy saját szerkesztésű kérdőív alkalmazásával valósult meg, amely online volt elérhető a hallgatók számára. A főiskola etikai szabályait betartva a részvétel teljesen önkéntes volt. A hallgatók tájékoztatást kaptak arról, hogy az online kutatásban az adatokat névtelenül gyűjtjük és, hogy személyes adatot nem rögzítünk. Továbbá, hogy a kutatás során nyert adatokat táblázatban név nélkül összegezzük, statisztikai elemzéseket végzünk rajta, amelyekből egyetlen résztvevő azonossága sem állapítható meg.

A kérdőívet 91 első és másodéves hallgató töltötte ki: 15 lány és 76 fiú, ami reprezentatív mintának számít a Szabadkai Műszaki Szakfőiskola informatika szakos hallgatók vonatkozásában.

Eredmények

A kérdőívben szereplő kérdésekre adott válaszok eloszlását a diagramok szemléltetik.

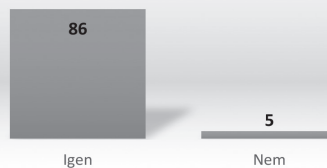




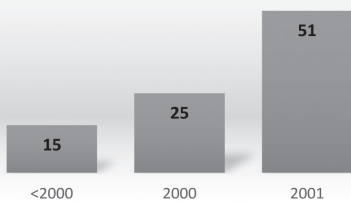
Amennyiben lehetőség adódna rá,
részst venne a gesztus-vezérelt
technológia és eszközök
fejlesztésében?



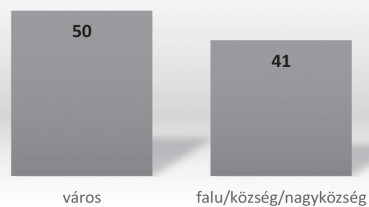
A kérdőív által sikerült-e valamelyest
megismertetni Önnel e technológia
fogalmát, lehetőségeit?



Születési éve



Lakóhelye?



Arra is kíváncsiak voltunk, hogy mik a hallgatók asszociációi a gesztus vezérlés fogalom hallatán. A válaszok között a szófelhőt felépítő fogalmak szerepeltek.

1. ábra: A gesztus vezérlés fogalomra adott hallgatói asszociációk



Forrás: saját szerkesztés

Nem létezik szignifikáns eltérés a nemek vonatkoztatásában aszerint, hogy ismerik-e a gesztusalapú technológia fogalmát (Mann–Whitney, $U=580.5$; $p=0.795$). A faluban és a városban élők között sem mutatkozott meg különbség ebben a kérdésben (Mann–Whitney, $U=966.5$; $p=0.551$), illetve nincs szignifikáns eltérés a különböző korosztályoknál sem (Chi–Square= 13.366 ; $p=0.1$).

A nemek vonatkozásában szignifikáns különbség mutatkozott meg a következő kérdésnél: Véleménye szerint a gesztusalapú tanulás hatással lehet a tanulási motivációra? (Mann–Whitney, $U=472.0$; $p=0.043$). Az összes megkérdezett lány pozitívan válaszolt a kérdésre.

A tanulási eredményességre gyakorolt hatásban szintén szignifikáns különbség mutatkozott a lányok és a fiúk válaszaiban (Mann–Whitney, $U=456.0$; $p=0.03$). A lányok nagyobb mértékben hiszik, hogy eredményesebb lehet a tanulás a technológia alkalmazása által.

A lakóhely vonatkozásában szignifikáns különbség van a városban és a faluban élő hallgatók között aszerint, hogy volt-e alkalmuk játszani gesztusvezérelt játékokkal (Mann–Whitney, $U=721.0$; $p=0.004$). A városban élők előnyt élveznek ebben a tekintetben.

A korosztály tekintetében egy kérdésben sem volt szignifikáns különbség a válaszok között.

Következtetés

A modern számítógépek felhasználói felületének fejlődése óhatatlanul eljutott arra a pontra, amelyen a felhasználó a főszereplő az ember–gép-interakcióban. Ez az interakció természetes és intuitív, a felhasználó mozgásán és hangján alapul, és előrelépést jelent a számítógéppel való kölcsönhatás megértésében. Kezdetben a mozgás- és hangfelismerési algoritmusok meglehetősen gyengék és pontatlanok voltak, de az idő előrehaladtával javultak, és ma már kielégítő a sikerarányuk.

Fontos felismerni, hogy e technológiák számos ága még gyerekcipőben jár; nincsenek követendő anyagok, meghatározott irányelvek vagy példák a bevált gyakorlatokra. Ebben az értelemben a mozgástechnológiák használata a tanítási kísérlet egyik formája. Természetesen nem minden iskola képes modern technológiát biztosítani a hallgatóinak. Azoknak azonban, akik képesek és hajlandók befektetni ilyen eszközökbe, a gesztusalapú technológia nagyon jó lehetőségeket kínál: fokozza az osztálytermi interakciót és lehetővé teszi a hallgatók számára, hogy lássák, megtanulják, megértsék és interakcióba lépjenek a környezettel, ezáltal interaktív digitális világot teremtsenek maguk körül.

A gesztusalapú eszköz oktatásban való használata kívánatos, hiszen növelheti a hallgatók kreativitását és munkakedvét, illetve javíthatja a tanítási folyamatot és a tanulást. A gesztusok jellege nemcsak univerzális és természetesebb, mint az egér vagy a billentyűzet működtetése, de értékes eszköz lehet a hallgatók figyelmének fenntartásában és összpontosításában, valamint az interaktív tanterem népszerűsítésében. Az osztálytermi használat nagymértékben függ a jövőbeni szoftverektől és azok fejlesztési dinamikájától. Tartozunk annyival a következő generációnak, hogy megfelelően készítsük fel őket az egyre digitálisabb társadalomra.

Köszönetnyilvánítás

A közlemény megjelenését az EFOP-3.6.1-16-2016- 00003 „K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen” című projekt támogatta.

Irodalomjegyzet

- Ali Shakroum, M.–Wai wong, K.–Chun Che Fung, L. (2016): The Effectiveness of the Gesture-Based Learning System (GBLS) and Its Impact on Learning Experience. *Journal of Information Technology Education: Research*, 15. Pp. 91–210. <https://doi.org/10.28945/3518>
- Ali Shakroum, M.–Wong, K. W.–Fung, C. C. (2018): The influence of Gesture-Based Learning System (GBLS) on Learning Outcomes. *Computers–Education*, 117. Pp. 75–101. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.10.002>

- Alibali, M. W.–Nathan, M. J.–Wolfgang, M. S.–Church, R. B.–Jacobs, S. A.–Martinez, C. J.–Knuth, E. J. (2014): How Teachers Link Ideas in Mathematics Instruction Using Speech and Gesture: A Corpus Analysis. *Cognition and Instruction*, 32. (1.) Pp. 65–100. <https://doi.org/10.1080/07370008.2013.858161>
- Atkinson, D. (2010): Extended, Embodied Cognition and Second Language Acquisition. *Applied Linguistics*, 31. <https://doi.org/10.1093/applin/amq009>
- Ayala, N. A. R.–Mendivil, E. G.–Salinas, P.–Rios, H. (2013): Kinesthetic Learning Applied to Mathematics Using Kinect. *Procedia Computer Science*, 25. Pp. 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.016>
- Bakker, S.–Antle, A. N.–Van Den Hoven, E. (2012): Embodied metaphors in tangible interaction design. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16. (4.) Pp. 433–449. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0410-4>
- Barakova, E. I.–Lourens, T. (2010): Expressing and interpreting emotional movements in social games with robots. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14. (5.) Pp. 457–467. <https://doi.org/10.1007/s00779-009-0263-2>
- Barsalou, L. (2008): Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59. Pp. 617–645. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Beauchamp, G.–Kennewell, S. (2010): Interactivity in the classroom and its impact on learning. *Computers–Education*, 54. (3.) Pp. 759–766. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.033>
- Bekker, T.–Sturm, J.–Barakova, E. (2010): Design for social interaction through physical play in diverse contexts of use. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14. (5.) Pp. 381–383. <https://doi.org/10.1007/s00779-009-0269-9>
- Blake, J. (2011): Natural User Interfaces In: *NET* [PDF]. <https://sciarium.com/file/55588/>
- Broaders, S. C.–Cook, S. W.–Mitchell, Z.–Goldin-Meadow, S. (2007): Making children gesture brings out implicit knowledge and leads to learning. *Journal of Experimental Psychology. General*, 136. (4.) Pp. 539–550. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.4.539>
- Brush, T.–Saye, J. (2001): The Use of Embedded Scaffolds with Hypermedia-Supported Student-Centered Learning. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 10. Pp. 333–356.
- Burke, R. V.–Andersen, M. N.–Bowen, S. L.–Howard, M. R.–Allen, K. D. (2010): Evaluation of two instruction methods to increase employment options for young adults with autism spectrum disorders. *Research in Developmental Disabilities*, 31. (6.) Pp. 1223–1233. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.07.023>
- Burns, C.–Myhill, D. (2004): Interactive or inactive? A consideration of the nature of interaction in whole class teaching. *Cambridge Journal of Education*, 34. (1.) Pp. 35–49. <https://doi.org/10.1080/0305764042000183115>
- Chang, C.-Y.–Chien, Y.-T.–Chiang, C.-Y.–Lin, M.-C.–Lai, H.-C. (2013): Embodying gesture-based multimedia to improve learning. *British Journal of Educational Technology*, 44. (1.) Pp. E5–E9. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2012.01311.x>
- Chang, W.–Fang, W.-C.–Lin, Y.-L.–Chen, N.-S. (2014): Gesture-Facilitated Learning of English Word Stress Patterns. 2014 *International Conference of Educational Innovation through Technology*, Pp. 37–42. <https://doi.org/10.1109/EITT.2014.14>
- Chang, Y.-J.–Chen, S.-F.–Huang, J.-D. (2011): A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 32. (6.) Pp. 2566–2570. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.07.002>
- Chao, K.–Huang, H.-W.–Fang, W.-C.–Chen, N.-S. (2013): Embodied play to learn: Exploring Kinect-facilitated memory performance. *British Journal of Educational Technology*, 44. <https://doi.org/10.1111/bjet.12018>
- Chen, N.-S.–Fang, W.-C. (2014): Gesture-Based Technologies for Enhancing Learning. In: *Lecture Notes in Educational Technology*, Pp. 95–112. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38291-8_6

- Cook, S.–Goldin-Meadow, S. (2006): The Role of Gesture in Learning: Do Children Use Their Hands to Change Their Minds? *Journal of Cognition and Development - J COGN DEV*, 7. Pp. 211–232. https://doi.org/10.1207/s15327647jcd0702_4
- Cook, S. W.–Duffy, R. G.–Fenn, K. M. (2013): Consolidation and Transfer of Learning After Observing Hand Gesture. *Child Development*, 84. (6.) Pp. 1863–1871.
- Detschew, S. (2008): *Impact of ICT in the developing countries on the economic growth: Implications derived from theory and empiricism*. GRIN Publishing.
- Dewey, J. (1938): *EXPERIENCE–EDUCATION*. 40.
- Di Tore, S.–Elia, F.–Aiello, P.–Carlomagno, N.–Sibilio, M. (2012): Didactics, movement and technology: New frontiers of the human-machine interaction. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7. <https://doi.org/10.4100/jhse.2012.7.Proc1.20>
- Evans, M. (2012): *Gestural Interfaces in Learning*. Pp. 3337–3340. <https://www.learntechlib.org/primary/p/40102/>
- Goldin-Meadow, S. (2005): *Hearing Gesture: How Our Hands Help Us Think* (New Ed edition). Belknap Press: An Imprint of Harvard University Press.
- Goldin-Meadow, S. (2017): Using our hands to change our minds. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 8. (1–2.) P. e1368. <https://doi.org/10.1002/wcs.1368>
- Grieser, J. D.–Gao, Y.–Ransdell, L.–Simonson, S. (2012): Determining Intensity Levels of Selected Wii Fit Activities in College Aged Individuals. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 16. (2.) Pp. 135–150. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2012.665268>
- Hair, J.–Hult, G. T. M.–Ringle, C.–Sarstedt, M. (2016): *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling*.
- Hamza Lup, F.–Adams, M. (2008): *Feel the Pressure: E-learning Systems with Haptic Feedback*, P. 450. <https://doi.org/10.1109/HAPTICS.2008.4479991>
- Homer, B. D.–Kinzer, C. K.–Plass, J. L.–Letourneau, S. M.–Hoffman, D.–Bromley, M.–Hayward, E. O.–Turkay, S.–Kornak, Y. (2014): Moved to learn: The effects of interactivity in a Kinect-based literacy game for beginning readers. *Computers–Education*, 74. Pp. 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.01.007>
- Hourcade, J. P.–Bullock-Rest, N. E.–Hansen, T. E. (2012): Multitouch tablet applications and activities to enhance the social skills of children with autism spectrum disorders. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16. (2.) Pp. 157–168. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0383-3>
- Hsiao, H. S.–Chen, J. C. (2016): Using a gesture interactive game-based learning approach to improve preschool children's learning performance and motor skills. *Computers–Education*, 95. Pp. 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.005>
- Hsu, J. (2011): The Potential of Kinect as Interactive Educational Technology. 2nd International Conference on Education and Management Technology, 13.
- Hwang, J.–Cho, K. (2012): Designing vibrotactile devices for teaching English intonation. Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 1–4. <https://doi.org/10.1145/2184751.2184869>
- Johnson, L.–Becker, S. A.–Witchey, H.–Cummins, M.–Estrada, V., Freeman, A.–Ludgate, H. (2012): NMC Horizon Report: 2012 Museum Edition. *The New Media Consortium*. <https://www.learntechlib.org/p/182014/>
- Kain, D. (2003): Teacher-Centered versus Student-Centered: Balancing Constraint and Theory in the Composition Classroom. *Pedagogy: Critical Approaches to Teaching Literature, Language, Composition, and Culture*, 3. <https://doi.org/10.1215/15314200-3-1-104>

- Kandroudi, M.–Bratisis, T. (2012): Exploring the educational perspectives of XBOX kinect based video games. *Proceedings of the European Conference on Games-Based Learning*.
- Ke, F.–Lee, S.–Xu, X. (2016): Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment. *Computers in Human Behavior*, 62. Pp. 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.094>
- Keene, K. A.–Rasmussen, C.–Stephan, M. (2012): Gestures and a chain of signification: The case of equilibrium solutions. *Mathematics Education Research Journal*, 24. (3.) Pp. 347–369. <https://doi.org/10.1007/s13394-012-0054-3>
- Kirsh, D. (2013): Embodied Cognition and the Magical Future of Interaction Design. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 20. <https://doi.org/10.1145/2442106.2442109>
- Kontra, C.–Goldin-Meadow, S.–Beilock, S. L. (2012): Embodied learning across the life span. *Topics in Cognitive Science*, 4. (4.) Pp. 731–739. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01221.x>
- Kuo, F.-R.–Hsu, C.-C.–Fang, W.-C.–Chen, N.-S. (2014): The effects of Embodiment-based TPR approach on student English vocabulary learning achievement, retention and acceptance. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 26. (1, Supplement), Pp. 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2013.10.003>
- Kuznetsov, S., Dey, A.,–Hudson, S. (2009): *The Effectiveness of Haptic Cues as an Assistive Technology for Human Memory*. P. 175. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01516-8_12
- Lang, S.–Block-Berlitz, M.–Rojas, R. (2012): *Sign Language Recognition Using Kinect*. P. 402. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29347-4_46
- Liu, Z. (2013): *Design a Natural User Interface for Gesture Recognition Application*. 22.
- Malizia, A.–Bellucci, A. (2012): The artificiality of natural user interfaces. *Communications of the ACM*, 55. (3.) Pp. 36–38. <https://doi.org/10.1145/2093548.2093563>
- Marshall, P. (2007): Do tangible interfaces enhance learning? *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, Pp. 163–170. <https://doi.org/10.1145/1226969.1227004>
- Mazalek, A.,–van den Hoven, E. (2009): Framing tangible interaction frameworks. *AI EDAM*, 23. Pp. 225–235. <https://doi.org/10.1017/S0890060409000201>
- Meng, M.–Fallavollita, P.–Blum, T.–Eck, U.–Sandor, C.–Weidert, S.–Waschke, J.–Navab, N. (2013): Kinect for Interactive AR Anatomy Learning. In 2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. *ISMAR 2013* P. 278. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2013.6671803>
- O’Hanlon, C. (2007): Gaming: Eat Breakfast, Drink Milk, Play Xbox. *T.H.E. Journal*. <https://www.scinapse.io/papers/77516824>
- O’Malley, C.,–Fraser, D. S. (2004): *Literature Review in Learning with Tangible Technologies*. <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/literature-review-in-learning-with-tangible-technologies>
- Petersson, E.–Brooks, A. (2007): Non-formal therapy and learning potentials through human gesture synchronised to robotic gesture. *Universal Access in the Information Society*, 6(2), 167–177. <https://doi.org/10.1007/s10209-007-0081-0>
- Picciano, A. G. (2009): Blending with Purpose: The Multimodal Model. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 13. (1.), Pp. 7–18.
- Ratner, H. H., Foley, M. A.,–McCaskill, P. (2001): Understanding Children’s Activity Memory: The Role of Outcomes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79. (2.) Pp. 162–191. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2585>
- [1] Reinders, H. (2014): Touch and gesture-based language learning some possible avenues for research and classroom practice. 6.
- Sankaranarayanan, G.–Weghorst, S.–Sanner, M.–Gillet, A.–Olson, A. (2003): *Role of Haptics in Teaching Structural Molecular Biolog*. P. 366. <https://doi.org/10.1109/HAPTIC.2003.1191312>

- Sankey, M.–Gardiner, M. (2010): Engaging students through multimodal learning environments: The journey continues. *ASCILITE 2010 - The Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education*.
- Sheu, F.-R.–Chen, N.-S. (2014): Taking a signal: A review of gesture-based computing research in education. *Computers–Education*, 78. Pp. 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.06.008>
- Shih, C.-H.–Wang, S.-H.–Chang, M.-L. (2012): Enabling people with developmental disabilities to actively perform designated occupational activities according to simple instructions with a Nintendo Wii Remote Controller by controlling environmental stimulation. *Research in Developmental Disabilities*, 33. Pp. 1194–1199. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.02.008>
- Stevanoni, E.–Salmon, K. (2005): Giving Memory a Hand: Instructing Children to Gesture Enhances their Event Recall. *Journal of Nonverbal Behavior*, 29. Pp. 217–233. <https://doi.org/10.1007/s10919-005-7721-y>
- Sylla, C.–Branco, P.–Coutinho, C.–Coquet, E. (2011): TUIs vs. GUIs: Comparing the learning potential with preschoolers. *Personal and Ubiquitous Computing*, 16. Pp. 421–432. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0407-z>
- Times, J. A. M. T. J. A. M. writes about technology for C. com S. also a contributor to the N. Y., Post, W., book, the G. H. most recent,–March, R. A. L. S. was published in. (2021): Google's Soli Uses Gesture Technology to Immerse K–12 Students. *Technology Solutions That Drive Education*. <https://edtechmagazine.com/k12/article/2019/08/googles-soli-uses-gesture-technology-immersed-k-12-students>
- Tore, S. D.–Aiello, P.–Palumbo, C.–Vastola, R.–Raiola, G.–D'Elia, F.–Carlomagno, N.–Sibilio, M. (2012): SENSORY MOTOR INTERACTION IN VIRTUAL ENVIRONMENT TO PROMOTE TEACHING-LEARNING PROCESS. *Problems of Education in the 21st Century*, 42.
- Vernadakis, N.–Gioftsidou, A.–Antoniou, P.–Ioannidis, D.–Giannousi, M. (2012): The impact of Nintendo Wii to physical education students' balance compared to the traditional approaches. *Computers–Education*, 59. (2.) Pp. 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.01.003>
- Wheeler, M. (2010): Physics experiments with Nintendo Wii controllers. *Physics Education*, 46. P. 57. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/1/007>
- Wojciechowski, A. (2012): Hand's poses recognition as a mean of communication with natural user interfaces. *Bull. Pol. Ac.: Tech.*, 60. Pp. 331–336. <https://doi.org/10.2478/v10175-012-0044-3>
- Wolski, R.–Jagodźński, P. (2019): Virtual laboratory—Using a hand movement recognition system to improve the quality of chemical education. *British Journal of Educational Technology*, 50. (1.) Pp. 218–231. <https://doi.org/10.1111/bjet.12563>
- Zuckerman, O.–Arida, S.–Resnick, M. (2005): Extending Tangible Interfaces for Education: Digital Montessori-Inspired Manipulatives. In *CHI 2005: Technology, Safety, Community: Conference Proceedings—Conference on Human Factors in Computing Systems*. <https://doi.org/10.1145/1054972.1055093>

Jegyzetek

¹ Gesture-Based Learning System

² Információs és Kommunikációs Technológiák - az információ gyűjtésének, tárolásának, továbbításának és prezentálásának hardver-, szoftver- és média feltételeit, legyen az információ formája hang, adat, szöveg, vagy kép. Magába foglalja a telefon, mobiltelefon, hardver, szoftver területét egészen az internetig (Detschew, 2008).

³ Gesture-Based Learning System

⁴ <http://www.tobii.com>

⁵ <http://www.kinecteducation.com>

⁶ <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-gesture-recognition-market>

Az érintés nélküli adatgyűjtés kockázatai és a kockázatszámítás módszerei

Összefoglalás: Bár egyre fejlettebb IT szabályok, technológia és kibervédelmi szakember csapat támogatja virtuális világunkat, napjaink részévé vált a világ különböző részeiről érkező támadási kísérletek észlelése és az incidentsek megakadályozása. Immár egyre több közszolgálati intézmény igénye az érintés nélküli megoldások alkalmazása a védelmi technológiában is. Egyes törekvések szerint a térfigyelő kamerák adatbázisának összekötése a hivatali, védelmi vagy akár a banki adatbázisokkal elengedhetetlen, hiszen az adatokat akár egy egységes bűnüldözői rendszerben is felhasználhatnák. Egyes országok kormányzatának álláspontja szerint a személyek köztéri valós idejű azonosítása visszaszoríthatja a bűnözést és a szigorúbb azonosítási rendszerrel csökkenthető az internetes incidensek száma. Az igény felvet néhány kérdést, vajon hogyan hat az esetlegesen túlzott ellenőrzés a többi, rendes életet élő polgárra? Valóban túlzott ez az ellenőrzés, vagy létezik olyan ország, ahol elengedhetetlenül szükséges és immár hatással van a többi országra is? Hogyan gyűjtik és használják fel a biometrikus adatokat és mi a célja? Milyen korlátai és kihívásai vannak a biometrikus adatgyűjtésnek? Kockázatkezelés szempontjából mekkora jelentőséggel bír az esetlegesen kibertámadásnak jobban kitett személyes adat? A fizikai határok kezdenek elmosódni, különböző típusú embercsoportok vándorolnak szerte a világban. Szinte pár óra alatt képesek vagyunk eljutni a világ egyik végéből a másikba, mivel a virtuális világban nincsenek határok, így a hasznos és a haszontalan vagy a kárt okozó üzenetek, programok vagy információk jórészt határok nélkül közlekedhetnek. IT eszközeinket egyre többféle védelemmel kell biztosítani, így védeni kell a szervereket, az alkalmazásokat, a routereket, a végpontokat és a végpontokon futó alkalmazásokat valamint a tárolt és éppen úton lévő adatokat egyaránt. A közterületen elhelyezett vagy az informatika által nyújtott, biometrikus adatokat rögzítő és továbbító, érintés nélküli eszközök és kommunikációjuk védelmét,

** National University of Public Service Budapest,
Hungary University of Pannonia Veszprém
E-mail: gyorffy.kriszta@gmail.com*

valamint az információbiztonsági garanciát sokszor multicégek vállalják. Egyes technológiákban az alkalmazások sikerességének titka akár az emberi arcok felismerése, az arcok mögött valós személyek tulajdonosságának beazonosíthatósága és egy, a valós személy élethű másolata, ahol a virtuális karakter lényegesen több információval rendelkezik, mint egy retusált kép vagy egy szöveges leírás. A technológiát integrálhatják akár egy adott ország digitális azonosítási rendszerébe, amelyet összeköthetnek más hatósággal is. Így például a bűnüldözői tevékenység kiterjeszthető más funkciót ellátó szakterületre is. Számos magánvállalkozás, autógyártással foglalkozó multivállalat vagy pénzügyintézet is segítheti a projekt megvalósulását. Az incidensek számossága és az elmúlt években okozott anyagi kár mértéke is mutatja, hogy a különböző projektek együttműködése elengedhetetlen abban az esetben, ha annak felhasználása az információbiztonsági alapelvek mentén történik. A személyes adatok utaztatása egyik rendszerből a másikba megfelelő minőségű és fejlettségű informatikai technológiát és felügyeletet igényel, kiemelt bizalmi státuszokkal. Az információbiztonsági alapelvek és előírások betartása ezért rendkívül összetett feladat, amely magas szintű technikai és munkaerő adottságokat igényel. Az adottságoknak és az információbiztonsági előírásoknak való megfelelést és ellenőrzését tanúsító cégek végzik. Az audit során feltárják a hiányosságokat, a biztonsági réseket és az adott rendszer működésével kapcsolatos kockázatokat is. Az érintés nélküli eszközök adatainak tárolására szolgáló adatbázisok létrehozásának és így módon való felhasználásának árnyoldalai is vannak. A különböző IT-eszközök interoperabilitási nehézségeit leküzdő rendszerek fejlesztése során adatvédelmi kérdésekkel, etikai alapelvekkel és információbiztonsági előírásokkal kerülhetünk szembe. A bűnüldözés és a megelőzés fontossága jelentős, de a módszerek kialakítása során a technikai és információbiztonsági előírások alkalmazása, a társadalom tudatosítása, a jogi, legfőképp adatvédelmi lehetőségek feltérképezése és az előírások betartása elengedhetetlen. Jelen tanulmány az érintés nélküli adatbevitel információbiztonsági jelentőségét és az alkalmazható kockázatkezelési módszereket veszi számba.

Kulcsszavak: Érintés nélküli; információbiztonság; kockázat.

Abstract: Although increasingly advanced IT rules, technology and cyber security team are supporting our virtual world, even so it became part of our day the notice and prevention of incidents, which come from the different parts of the World. More and more governments are now requiring the use of contactless solutions in defence technology as well. According to some theory, it is essential the connection the surveillance camera database to the official, defence or other banking databases, because data could even be used in a unified law enforcement system.

According to the governments of some countries, real-time identification of people on the public area can reduce crime and the stricter identification system can also reduce the number of Internet incidents. The idea raises a question, so how does potentially excessive control affect other citizens living a normal life? Is it really control excessive, or is there a country where this care is absolutely necessary and now has it impact on other countries as well? How is the biometric data collected and used and what is its purpose?

What are the limitations and challenges of biometric data collection? From the point of view of risk management, how important is the possibility of data entry that may be more exposed to a cyber attack?

The physical boundaries are starting to blur, different types of groups of people are migrating around the World. We are able to get from one end of the world to the other in almost a few hours. There are no boundaries in the virtual world, so useful and useless or harmful messages, programs, or information can travel largely without boundaries. Our IT devices need to be protected in an increasing number of ways, including servers, applications, routers, endpoints and applications running on endpoints, and even personal information. The multi company often guarantees the information security of the contactless, data recording and sending IT devices, which are situated in a public area or which are made by robotics. In some technologies, the secret of the successful application is recognizing human faces, is identifying the characteristics of real people behind the faces and is realistic copying of a live person's character, where the virtual character has significantly more information than a retouched picture or a text description. The technology can be integrated into a country's digital identification system, which can also be linked to another authority. Thus, for example, law enforcement can be extended to other area. Some private companies, automotive multinationals firm or financial institutions can help in similar project. In recent years, the number of incidents and the extent of the caused material damage also show that the cooperation is essential between different projects, if the projects are used based on the information security principles. The transfer of personal data between two systems requires a high degree of security technology and supervision, with unique statuses of trust. Therefore following of the information security principles and standards are an extremely complex task that requires a high level of technical and manpower. Compliance, verification of capabilities, and information security standards are performed by companies, which certify. The audit are identified the gaps, vulnerabilities and risks of the information system. There are some disadvantages of creating and using databases, which store of data of contactless IT devices. During the development of IT devices, which overcame the interoperability difficulties, we are facing data protection issues, ethical principles and information security standards. Crime prevention and law enforcement are important, but the development of methods requires the application of the technical and the information security standards, the user awareness, the analysing of legal and data protection options, and the compliance with the standards. This paper is concerned with the information security and risks assessment methods of contactless data recording.

Keywords: Contactless; information security; risk.

Bevezetés

A biometrikus adatok gyűjtésével és felhasználásával a személyes adatok palettája kibővül, ezáltal többféle informatikai technológia válik elérhetővé a vállalkozások és az állami intézmények, valamint a felhasználók számára. A szükségszerű technológiai fejlődés által megjelenő új információs felületek használata feltételezi a technológiai, az adatvédelmi és az információbiztonsági minimális követelmény teljesülését. Ugyanakkor a biometrikus adatok jellegüktől fogva nem változtathatók meg, ezért a védelmük is kiemelten kezelendő. Sérülésük vagy veszélyeztetésük az érintettre vonatkozóan helyrehozhatatlan károkat okozhat. Az információbiztonsági és az adatvédelmi alapelvek és előírások meghatározzák az adatkezelés technológiai és jogi követelményét. Általában a nagyobb munkavállalói létszámmal rendelkező vállalkozások, valamint a közszolgálatot teljesítő intézmények információbiztonsági ajánlásoknak, valamint a törvényi rendelkezéseknek megfelelően szabályozzák a személyes adatkezelést. Az információbiztonsági szabályozás önmagában kevés, az információbiztonsági kockázatok feltárásával, elemzésével és kezelésével meghatározható az adott információs rendszer információbiztonsági szintje, hatékonyabbá tehető az incidenskezelés. A kockázatkezelési módszerek, mint a kockázatmenedzsment eszközei segítenek azonosítani és meghatározni a rendszer gyenge pontjait, a kezelendő sebezhetőségeket, a kockázat mértékét és az elfogatható tartományt, valamint a maradványkockázat értékét.

Semmi sem eredményezi az innovációt jobban, mint a válság

Biometrikus módszereket több, mint száz éve használjuk, többek között a bűnüldözési eljárásokban. 1901-ben Angliában és Írországbán használtak először ujjlenyomatot a bűnügyi nyilvántartásokban, később 1903-ban az Amerikai Egyesült Államok, New York Állami Börtönében bevezették az ujjlenyomat-alapú azonosítást. Nagy fejlődést jelentett az FBI¹ ujjlenyomatok feldolgozására létrehozott részlege 1924-ben, amely 1946-ban már közel 100 millió ujjlenyomattal rendelkezett. 1936-ban pedig Frank Burch lefektette az íriszvizsgálat alapjait. 1960-as évektől számíthatjuk az arcfelismerő berendezéseket, mivel Bledsoe, Goldstein és Lesk munkássága alapján megszülettek az első gépi arcfelismeréssel kapcsolatos eredmények. Ugyanakkor azt is el kell mondani, hogy a biometrikus módszerek elterjedésének korai szakaszában a pontos meghatározás alulmaradt a vártnál, nagy volt a hibalehetőség is. 1965-ben létrejött az első automatikus aláírás-ellenőrző rendszer, de csak az 1977-es szabadalmazást követően fejlesztették tovább. 1974-ben megjelent az első kereskedelmi forgalomba állított kézgeometria-olvasó, és 1976-ban kifejlesztették a hangalapú azonosítás rendszerét.

Később, 1998-ban bevezetésre került a DNS-alapú azonosítás és 1994-ben magyar fejlesztés alapján megalkották az első tenyérleNyomatot használó rendszert. Arcfelismerő rendszert 2001-ben telepítettek először az Egyesült Államok egyik stadionjában, majd a 2001. szeptember 11. után az amerikai hatóságok az összes reptérre biometrikus rendszert vezettek be.² A biometrikus módszerek kifejlesztése és alkalmazása nagy utat tett meg mostanáig, ugyanakkor az elmúlt években, valójában az elmúlt száz év eredményeire alapozva szintén nagy előrelépést tapasztalhattunk meg, immár a pontos és gyors azonosítást igénylő érintés nélküli biometrikus adatgyűjtés terén. A Covid-19 világjárvány következtében az érintés nélküli technológia, a biometrikus adatgyűjtést alkalmazó rendszerek használata iránt megnőtt a kereslet. Az egyik legújabb és legszembevetőbb érintés nélküli azonosításra szolgáló rendszer a norvég reptereken alkalmazott biztonságos áthaladást segítő technológia, amely biztosítja a fizikai kontaktus, személyzettel vagy beléptető berendezésekkel való elkerülését a poggyászfeladástól kezdve a beszállásig. A norvég Avinor vállalat ezzel az intézkedéssel is szeretne volna növelni az utasok bizalmát, akik már az online regisztrálás során megkapják a beszállókártyát. Az intelligens poggyászfeladó automata segítségével elkerülhető a személyes kontaktus. Budapesten, a Budapest Airport is alkalmaz hasonló technológiát. Egyes repterek robotok használatával is kísérleteznek, mint például a dél-Koreai Incheon nemzetközi repülőtér egy utasokat arcmaszk viselésére emlékeztető robot tesztelését végzi. A robot rögzíti és továbbítja azon személyek arcáról készített felvételt, akik nem teljesítik a hatóság által előírt feltételeket. Biometrikus adatgyűjtés alapú IT-rendszerek tesztelésben például Németország, Kanada, Kína, Japán, Izland, Olaszország, Spanyolország is részt vesz, ezáltal jelentősen felgyorsítják az ellenőrzési folyamatot.³ További kezdeményezés, hogy az utasok egy speciális rendszerbe feltöltik a szelfiket, az arcukról készített képet, a hitelesített útlevéllel ezt ellenőrzik, majd a beszállókapunál egy képernyő segítségével megtörténik az azonosítás és beszállhatnak. Az automatizált határellenőrzési rendszer valószínű a Covid-19 után is velünk marad.

További érintés nélküli megoldások születnek abból a célból, hogy biztosítsák a személy és vagyonvédelmet:

- társadalmi távolságtartás mérése a reptereken és egyéb forgalmas helyeken,
- arcmaszkok viselésének detektálása,
- testhőmérséklet-mérés,
- légszűrő rendszerek alkalmazása, fertőtlenítés,
- utasérkeztetés,
- szigorúbb takarítási eljárások alkalmazása.

A járványhelyzet idején a mobilalkalmazások használata elősegíti a szükséges személyes kapcsolattartás csökkentését az oktatási intézményekben, a munkahelyeken, valamint a hivatali ügyintézés során, tehát az applikációkkal az ügyintézési és a személyes érintkezési kötelezettségek a minimálisra redukálhatók.

A mesterséges intelligencia technológiáját alkalmazó rendszerek esetében bármely érintés nélküli vezérlés hozzáadható minden egyes kiszolgáló eszközhöz, amely további fejlesztési lehetőséget biztosít. Ilyen például az emberi reakció érzékelése, feldolgozása és értelmezése, mint például a mozgáskorlátozott személyek esetében a fej mozgásával irányítható az adott önkiszolgáló eszköz. A hangfelismerő eszközök fejlesztésével, egyedi hangok, hangminták gyűjtésével, alkalmazásával és az egyének felismerésével betegellátó intézmények munkája is támogatható, vagy forgalmas helyeken az adott egyén hangja felismerhető. A gyors azonosításra szolgáló technológia segíthet megakadályozni a kórokozók terjedését a repülőtereken, ezáltal a közlekedés is biztonságosabbá válik. A biometrikus adatok tárolása, feldolgozása és felhasználása különböző célokat szolgálhat. Az adatok használhatók kereskedelmi szolgáltatások (pénzfelvétel, hozzáférés-ellenőrzés, számlázás, vásárlás, beléptetés) nyújtására, hatósági (személyazonosság igazolása, határátlépés, katonai programok, adathozzáférés) alkalmazások használatára, bünyügyi és bírósági ügyek intézése és eljárások lefolytatására (halottazonosítás, bűnözők felderítése és azonosítása, emberi és vérszerinti kapcsolatok meghatározására, elveszett személyek felderítésére, büntetővégrehajtásra és nyomkövetésre: börtön, javítóintézet, házi őrizet). Az előbb felsoroltakon kívül számos helyen magán és közérdekből egyaránt alkalmaznak különböző biometrikus adatok detektálására információs eszközöket, így videó- és hangrögzítő, arcfelismerő, érintés nélküli ujjlenyomatolvasó, retinabeolvasó és felismerő rendszereket, amelyek alkalmasak a személyes adatok (arcpontok, kézlenyomat, hang, mozgás) rögzítésére és továbbítására, feldolgozás és további felhasználás céljából. Az alkalmazási területeket többféleképpen csoportosíthatjuk, mint például videófelügyelet (személy és vagyonvédelem céljából), egészségügy, illetve gyógyítás (orvosi kezelések, kórtörténet meghatározása, személyazonosítás, egészségügyi rendszerhasználat során azonosítás), munkáltatói ellenőrzés (munkaidőnyilvántartás: be- és kilépés ellenőrzése, azonosítás, rendszerhozzáférés ellenőrzés) céljából alkalmazott információs eszközök.

Biometrikus adatok rögzítésének és tárolásának korlátai és kihívásai

A reptereken használt biometrikus rendszerek magukban foglalják a személyhez kapcsolódó regisztrációt, azonosítást és a tanúsítást, amellyel egy bizonyos személy azonossága igazolható. Az azonosítási folyamat alkalmazásával különböző információs rendszerek együttműködését, interoperabilitását biztosítani kell, így a hatósági és a reptéri adatbáziskezelő valamint alkalmazásrendszerek közti folyamatok biztosítását, a feladatainak biztonságos elvégzését és a kommunikáció biztonságát. A tudomány jelenlegi állása alapján az ujjlenyomat, az írisz, az arcvonalak vagy az emberi hang tulajdonsága ugyan megváltoztatható, de nagyon költséges és bonyolult orvosi módszer segítségével, ezért a biometrikus adatok kicserélése tömeges formában a jelenlegi orvosi gyakorlat szerint nem megoldható. Tehát a biometrikus adatok tárolása, kezelése és továbbítása különleges biztonsági védelmet kíván, mivel azok egyediek, nem lecserélhetők és nem pótol-

hatók. Ugyanakkor egy személyi igazolványszám vagy egy információs rendszer felhasználói adata bármikor megváltoztatható. A biometrikus rendszerek iparági szakértői az érintés nélküli biometrikus adatokat kezelő rendszerek három formáját látják reálisnak: az arc-, írisz-felismerést vagy ujjlenyomat-azonosítást.

Az arcfelismerő rendszerek jellemzően négy komponensből állnak:

- képi rögzítésre alkalmas fényképezőgép,
- algoritmus az arc template létrehozására,
- adatbázis a képek tárolására,
- algoritmus a képek összehasonlítására (a készített képre és a tárolt képekre vonatkozóan).

Az arcfelismerő rendszerek működését az úgynevezett gépi tanulás (MI), a mélytanulás (deep learning) és a neutrális hálózatok technikai támogatják.⁴ A Google Picasa képszerkesztő szoftvere például arcfelismeréssel, nevekkel címkézi az adatbázisba betöltött fotókat. A Facebook szintén arcfelismerési funkciókat használ a kapcsolatok azonosításához és képes 98%-os pontossággal azonosítani a fényképeken szereplő személyeket az adatbázisuk segítségével. Az Amazon Prime Photos szoftvere nemcsak az arcokat vagy a tárgyakat ismeri fel, hanem az arcanalízis technológiával az egyének érzelmi állapotát tudja elemezni, úgymint a száj, szemöldök állása, tehát az egyén mosolyog vagy sem. Az Apple 3D arczszkenelő funkciója ujjlenyomat-beolvasó helyett az arcfelismerő technológiát használja a bejelentkezéshez. Bár az emberi arc alakja, vonalai változnak, az arcfelismerő rendszereket ki kell egészíteni az öregedési folyamat által létrehozott változásokkal, illetve annak valószínűségével. További hibátényező lehet az arc megvilágítása, az éppen aktuális arckifejezés, vagyis mimika, a szemüvegviselés és az elmosódás.

Az érintés nélküli ujjlenyomat-technológia (CFT) használata potenciális előnyökkel jár az állami és a magánfelhasználók számára. A CFT-technológiák nagymértékben javíthatják a LFT által eddig begyűjtött adattartalom minőségét és drasztikusan növelhetik a gyűjtemény méretét is. Előnye az előző technológiához képest a gyorsabb és higiénikus adatrögzítés, mivel nincs szükség a fizikai érintésre. A CFT alkalmazása során 3D ujjlenyomat-kép készül, ami a korábbi tinta, papír, lemez, optika vagy érzékelő felület-alapú technológiával szemben hatékonyabbnak tűnik. A 3D technológia kiküszöbölheti a 2D technológiák által okozott eredmények torzulását, a szennyeződések (úgymint tintaelfosódás, papíron vagy érintőképernyőn lévő szennyeződés) által okozott hiányosságokat, ezáltal gyorsabb a feldolgozás és hatékonyabb az azonosítás is. Az FBI által használt adatbázisából az ujjlenyomat-egyeztetés algoritmusát alkalmazó NGI⁵ rendszere a kezdetekben 92%-ban, ma már viszont 99,6%-os arányban azonosíthatók az egyének.⁶ Hasonló arányban változott az arcillesztési és –felismerési technológia eredményessége is, amely 92%-ról 97,5%-ra nőtt. A CJIS adattár központi rendszeréhez online kapcsolódó mobil azonosító eszköz gyors ujjlenyomat keresésre szolgál, amivel a tisztviselők másodpercek alatt megkaphatják az egyén összes elérhető adatát. Ez a RISC gyorskereső szolgáltatás hatékonysága többek között abban rejlik, hogy képes ke-

vesebb, mint 10 mp alatt adatot szolgáltatni. Az adattár hozzáfér a Nemzeti Bűnügyi Információs Központ adattartalmához (1. ábra) is, beleértve az elítéltek, jogsértők, terroristák, vagy gyanúsítottak, illetve eltűnt személyek adatbázisát.

1. ábra. FBI, NGI adatai, 2021.⁷

March 2021 Next Generation Identification (NGI) System Fact Sheet

NGI System Daily Records					
Receipts	Totals	Date	Closeouts	Totals	Date
Receipts	364,617	06/25/2015	Closeouts	363,907	06/25/2015

Unless noted otherwise, the Receipt and Closeout numbers provided in this monthly report are based on Tenprint Fingerprint totals only, and do not include transactions involving other biometric types.

NGI System Fingerprints in the Identification and Slap Segmentation Fingerprint (idFP) Repository	
Repository Type	Repository Count for idFP Composite Fingerprints
# Civil Fingerprint Repository	59,573,538
# Criminal Fingerprint Repository	78,812,631
Repository for Individuals of Special Concern	3,536,611

an additional 14,141,473 Civil Fingerprint composites are in both the criminal and civil repositories and consist of mostly Office of Personnel Management and Military related fingerprints.

A biometrikus adatokat, úgymint ujjlenyomat, arcvonalfelismerő technikákat felhasználják a laptop, telefon bejelentkezéséhez, majd további applikációhoz, úgymint banki tranzakciókhoz, szavazásokhoz, és egyéb ügyviteli rendszerekhez.

Az elmúlt tíz évben számos olyan biometrikus azonosításon alapuló információs rendszert vezettek be, amelyek esetlegesen nem a kellő módon teljesítik a magas információbiztonsági és adatvédelmi követelményeket. Sok esetben az állami felügyeleti szervezeteknek nincs rálátásunk a nagyvállalatok által alkalmazott rendszertechnológiára⁸, és esetenként az egyedi technológia jogvédelem alá esik. Az állampolgárok kevésbé járatosak a technológiák megbízhatóságában, megfelelő működésében és a biometrikus adattárolásra és kezelésre vonatkozó információbiztonsági tanúsítvánnyal is rendkívül kevesen rendelkeznek.

Mivel a kormányzati szervek és a kereskedelmi szervezetek egyre inkább arra törekszenek, hogy rögzítések és adatbázisokban tárolják a biometrikus adatokat, amelyek természetükből adódóan nem változhatnak így aggodalomra ad okot, hogy a felhasználásra vonatkozó előírások megfelelő szigorral rendelkeznek vagy sem. Mivel a biometrikus információinak tárolására adatbázisokat hoztak létre, és a kormányzati szervek ezt egyre jobban használják, ezek az adatbázisok immár célponttá váltak, és növekszik az adatvédelmi jogsértés kockázata. Az adatvédelmi jogokkal foglalkozó szervezet, az Elektronikus Adatvédelmi Információs Központ (EPIC)⁹ felszólította a TSA-t, hogy fontolja meg a TSA Pre-Check alkalmazás biometrikus azonosítóinak gyűjtésének bővítési lehetőségeit.¹⁰ Az EPIC aggodalmát a különleges adat-

nak minősülő biometrikus adatokhoz kapcsolódó azonosítók fokozottabb fenyegetettsége miatt fejtette ki, amelyeket az előzetes ellenőrzésre való jogosultság meghatározásán kívül más célokra is használnak. Jelenleg a TSA és a kormányzat számára is rendelkezésre áll a technológia, de figyelembe kell venni a magánélet befolyásolására vonatkozó tényezőket és az adatvédelmi előírásokat, mint például az adatok tárolásának minimalizálására vonatkozó adattakarékosság elvét¹¹, valamint a kormányzati adatbázisok biztonsági kockázatait is. Mivel a biometrikus adatok elérése egyre vonzóbb a hackerek számára, ezért növelheti a jogsértések számát, és az okozott kár mértékét. Számos napi használatban lévő informatikai eszköz, tehát telefon vagy laptop használ biometrikus azonosítást, aminek védelmi technológiája rejtett a nagyközönség, illetve esetlegesen a hatóságok számára is. A hitelesítési forgatókönyv szerint a hozzáférés biztonságos, mivel a biometrikus adat a felhasználó saját mobiltelefonján tárolható, és a használata önkéntes és korlátozható, ugyanakkor a biztonság érdekében a hozzáférés és az üzemeltetés szabályain is szigorítani kell. Kormányzati szintű alkalmazások terén több millió személy biometrikus információja kerülhet veszélybe, tehát a kockázat jelentős. A biometrikus adatok minden egyes ember számára egyediek, ha ezek veszélybe kerülnek az egyének magánéletét és biztonságát örökre befolyásolja. A biometrikus adatok gyűjtését, tárolását, felhasználását és továbbítását hazai és nemzetközi rendelkezések szabályozzák. Tekintettel arra, hogy a biometrikus adat, olyan különleges adat,¹² amely egy természetes személy fizikai, fiziológiai vagy viselkedési jellemzőire vonatkozó olyan, sajátos technikai eljárásokkal nyert személyes adat, amely lehetővé teszi vagy megerősíti a természetes személy egyedi azonosítását, ezért az adatvédelmi szabályokon túl célszerű az adott információs rendszerre a kockázatkezelést elvégezni. A kockázatkezelés a kockázatmenedzsment részét képezi.

A biometrikus adatkezelés információbiztonsági, kockázatértékelési és kockázatkezelési módszerei

A kockázatmenedzsment egy proaktív módszer a biztonsági kockázatok csökkentésére és a biztonsági teljesítmény javítására. A hatékonyan végrehajtott kockázatmenedzsment dokumentált, folyamatalapú és elősegíti a biztonságos működést. A legtöbb ágazat törekedett arra, hogy a saját területén a kockázatmenedzsment folyamatát (2. ábra) alkalmazzák. A kockázatmenedzsment célja, hogy a kockázatértékelés következtében megállapított kockázat, valamint a maradványkockázat a lehető legkisebb mértékű legyen.

A kockázatmenedzsment fázisai a következők:

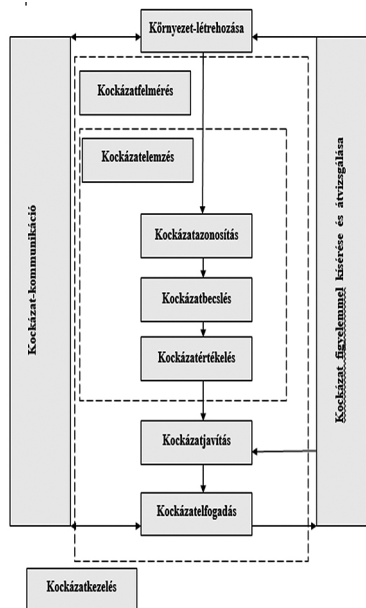
- bevezetés,
- előzetes kockázatfelmérés,
- kockázatelemzés (Analyse): kockázatazonosítás (Identify), kockázatbecslés és kockázatértékelés,

- hatásellenőrzés és -mérés, kockázatkezelés és -javítás, beavatkozás (Control),
- kockázatelfogadás, eredmények közzététele (Communicate, Deliberate, and Document).

A kockázatkezelés folyamata mindaddig tart, amíg a kockázatot a lehető legkisebb mértékűre sikerül csökkenteni.

A kockázatmenedzsmentnek nem célja, hogy felderítse az összes lehetséges körülményt és befolyásoló tényezőt, de törekedni kell arra, hogy a lehető legtöbb fenyegetés¹³ típusait (veszélyforrást¹⁴) számba vegyünk.

2. ábra. ISO 31000 Risk management – guidelines alapján (saját szerkesztés)



A kockázatkezelésnél figyelembe kell venni a szervezetre ható input folyamatokat, az erőforrásokat, amelyeket a rendszer a folyamatok és műveletek végrehajtása során felhasznál, valamint a környezeti hatásokat és kapcsolatokat, tehát a rendszeren kívülről érkező hatásokat, amelyek meghatározzák

- a szervezetek fenyegetéseit és a potenciális veszélyek jellegét és szintjét, – a káros hatások bekövetkezésének valószínűségét,

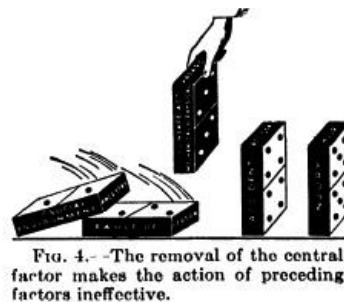
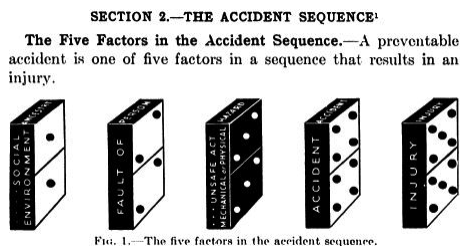
- a megszakítások (rendellenes rendszerleállás, szolgáltatáskimaradás) szintjét és a helyreállítás költségét,
- a kockázatok kezelését szolgáló ellenőrzések hatékonyságát.

A szükséges intézkedések típusa befolyásolja a kockázatkezelést, ami lehet megelőző (preventív), észlelő (detektív) és javító (korrektív). Az intézkedések típusának megválasztása esetfüggő, ezért az alkalmazható általános érvényű elveket, módszereket érdemes figyelembe venni. Az incidensek sokféle méretben, megnyilvánulási formában fordulnak elő, az általuk okozott veszteség is különböző, így lehet ipari, gazdasági és személyi vonatkozású kár. Az incidenst kiváltó okokat, az incidens folyamatát és lehetséges kimenetét többféle módszerrel lehet vizsgálni. Mivel a legtöbb incidens összetett, ezért elemzésükhöz is többféle módszer szükséges. Minden egyes elemzés során számba kell venni az elemzéshez alkalmazott eszközöket, módszereket és egy-egy új modell bevezetése nem azt jelenti, hogy a régiek elavultak, inkább csak azok továbbfejlesztett változata alkalmasabb a feladat elvégzéséhez. Az alkalmazott módszerek és az általuk megfogalmazott elvek kiegészítik egymást. Minden kockázatkezelés egyedi, amely egyedi vagyontárral, sebezhetőségekkel, esetleges incidensekkel és intézkedésekkel rendelkezik, ezért a kockázatkezelés során a meglévő kockázatkezelési módszerek megfelelő kiválasztásával tökéletesíthető a kockázatkezelési intézkedési terv, és csökkenthető az esetlegesen bekövetkező incidensek száma és hatása, valamint a kockázat, hiszen az esemény bekövetkezésének valószínűsége is csökken, így növelhető a kockázatkezelés hatékonysága. Az alábbiakban felsorakoztatott módszerek segítenek abban, hogy a kockázatot a lehető legpontosabban határozhassuk meg.

Kockázatkezelésnél az alábbi modelleket, módszereket lehet figyelembe venni:

- *Biztonsági modellek*: amelyek a biztonságra (elsősorban ipari, informatikai, nemzet) vonatkozó tulajdonságokkal és feltételezésekkel kapcsolatos hipotéziseket rögzítik, amelyek igazolásával hozzájárulnak a rendszer biztonságának növeléséhez.
- *Baleseti modellek*: baleseti hipotézisek összessége, amely az előfordulásának módját és az elveket rögzítik, ilyen például a Seveso-irányelv¹⁵ vagy az irányelv alapjául szolgáló modellek.
A baleseti modellek egyik alapja az egyszerű, véletlenszerű, szekvenciális modell, a H. W. Heinrich dominómodellje, amelynek lényege, hogy a balesetek egy meghatározott sorrendben előforduló, mechanikus események sorozatából származnak és a baleset megakadályozható azzal, ha eltávolítjuk a dominó-sorozat egyik meghatározó tényezőjét (3. ábra).

3. ábra. H. W. Heinrich dominómodellje, 1941.¹⁶



A dominóelv a kockázatkezelés során jól alkalmazható, hiszen a megfelelően kiválasztott gyenge pont kezelése és a biztonsági rés befoltozása. A sebezhetőség kijavítása a sebezhetőséget kihasználó incidensek számát csökkenti, mivel a támadás során ezen a helyen rést nem, csak bezárt ajtót találnak. A modell előnye, hogy egyszerű és könnyen átlátható, megérthető és lehetőséget nyújt a lényeges ok-okozati tényezők azonosítására, amelyek hozzájárulnak a baleset vagy incidens bekövetkezéséhez. A dominóelv a viselkedésalapú biztonsági programok együttes alkalmazásával lehetőséget nyújt a gyenge pont előtérbe helyezéséhez, az esetleges emberi hibák, hibás emberi teljesítés észleléséhez.

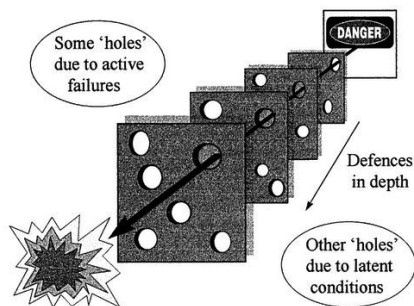
A dominóelv alapján az alábbi kockázati faktorok állapíthatók meg:

- kiváltó ok (eredő tulajdonság) és társadalmi környezet (hanyagság, makacsság, kapzsiság; nem kívánatos vagy zavaró tényező),
- személy hibája (veszély okozása, bármely emberi tulajdonságból vagy viselkedésből eredően),
- nem biztonságos cselekmény és / vagy mechanikai vagy fizikai veszély,
- baleset (főként emberi hibából eredő esemény, ami sérülést okoz),
- sérülés (sértés vagy sérülés, ami a baleset következménye).

A H. W. Heinrich másik baleseti modellje a „biztonsági piramis” vagy „baleseti háromszög”, amelynek teóriáját tovább gondolva megállapítható, hogy a kisebb események bekövetkezési gyakoriságának csökkentése, csökkenti a súlyos balesetek bekövetkezésének valószínűségét.

A következő modell, James Reason svájci sajtmodellje szerint, ha feltételezzük, hogy az incidenst az aktív hibák (hibás biztonsági magatartás) és látens, környezeti tényezők kombinációja okozza, a korlátok megerősítésével megelőzhető a baleset. A biztonság menedzselése ebben az esetben is megköveteli a teljesítmény-mutatókat.

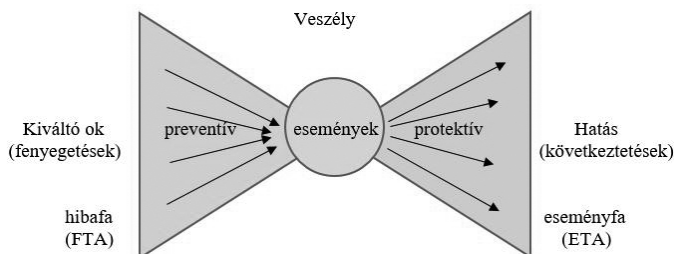
4. ábra. svájci sajtmodell¹⁷



A módszer (4. ábra) lényege, hogy az incidens csak akkor következhet be, ha minden „sajt” rétegen, azaz minden védelmi rendszeren átcúszik a nemkívánt támadási kísérlet. Számos iparág, mint például a közlekedés (légitársaságok) vagy az egészségügy használja ezt a modellt. A védekezési lehetőségeket a különböző méretű és elhelyezkedésű lyukakkal ellátott „sajtszeletek” jelentik. Lehetőleg azonos méretű és elhelyezkedésű lyukakkal ellátott „sajtszeletek” ne kövessék egymást. Amennyiben ez mégis előfordul, az adott védelmi réteg nem éri el a szükséges hatást és a támadás átjut rajta. Szükséges a gyenge pontok minimalizálása és a biztonsági rések befoltozása.

A következő modell, a Bow-tie, ami egy vizuális csokornyakkendő módszer a veszély hatásainak, a kockázatok, a következményeknek megértésére. A módszer lényege, hogy a bal oldalon fel kell sorolni az összes olyan lehetséges okot vagy fenyegetést, amely az esemény bekövetkezéséhez vezethet. A jobb oldalon pedig az összes olyan következményt fel kell tüntetni, amely az esetlegesen bekövetkezendő eseményhez kapcsolható. A kiváltó okok és a lehetséges következmények egymással összekapcsolhatók és az ok-okozat között felállítható a logikai folyamatábra. A csokornyakkendő módszer leegyszerűsített ábrázolása az 5. ábrán található.

5. ábra. Bow-tie modell alapján (saját szerkesztés)



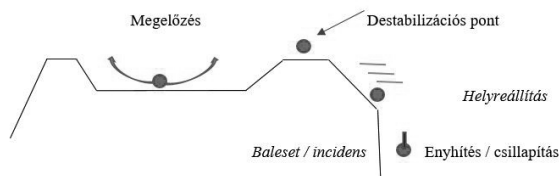
A Bow-tie modell továbbfejlesztett változata a HSE-módszer, ami egy strukturált ellenőrzési modell a kockázatok kezelésére, aminek egy részletét a következő ábra mutatja.

6. ábra. Health, Safety and Environment (HSE) Management System, TÜV



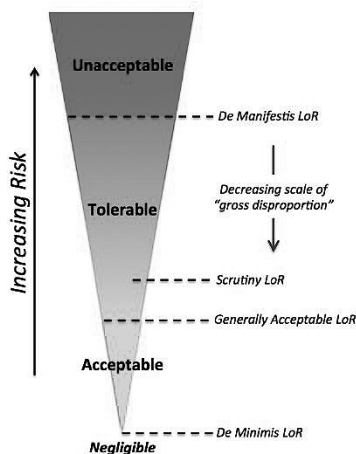
A Loss of control accident model (7. ábra), az irányítás elvesztése – a nem lineáris baleseti modell (French BEA) feltételezése szerint, az incidens egy nem várt esemény és a normál teljesítményváltozás kombinációjából adódik. Az incidens megelőzése a folyamatok megértésében és a monitoringolásában rejlik. Az elvárt védelmi szint megköveteli a bekövetkező események detektálhatóságát és a megfelelő reagálás képességét. A modellt repülőgép balesetek analizálásához és megelőzéséhez használják.

7. ábra. Loss of control accident model (French BEA) alapján (saját szerkesztés)



- A mentális modellek alkalmazása befolyásolhatja az adott rendszer tervezését és működését, az operatív döntéseket és a munkavállalók viselkedését. A humán modell szerint a biztonság jelentősen javul, ha eltávolítjuk a „megromlott almát”, tehát az olyan alkalmazottakat, akik emberi hibákat, úgynevezett „human-error”-t generálnak, mivel sorozatos gondatlan magatartásuk áterjed a többi munkavállalóra is. Bármely rendszerben az emberi viselkedést a környezeti tényezők, korlátok befolyásolják, mint például a nyereséges és veszteséges típusú folyamatok, biztonsági műveletek, munkaterhelés. A „human-error” menedzsment rendszerszemlélet híveinek egyik jelentős álláspontja, hogy egy olyan átfogó irányítási programra töreksszenek, amely több különböző célra irányul: a személyre, a csapatra, a feladatra, a munkahelyre és az intézményre.¹⁸

8. ábra. ALARP-alapelv²⁰



– Kockázatkezelést segítő módszerek:

- ALARP (As Low As Reasonably Practicable) kockázatkezelési keretrendszer, amely a kockázatsökkentés meghatározására szolgáló alapelveket rögzíti.

Az Európai Unió számos döntési mechanizmusához,¹⁹ vagy repülésbiztonság rendszereihez használják az ALARP-keretrendszert, amelynek kritériumai.

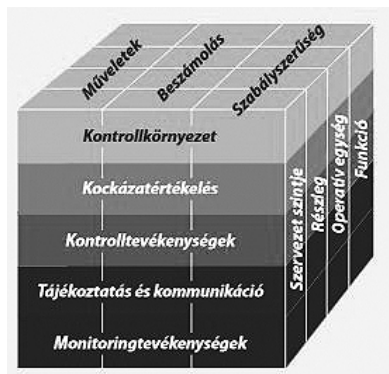
- az elfogadhatatlan tartomány, amely a tevékenységekhez kapcsolódó előnyöktől független.
- az elfogadható ALARP-tartomány, a kockázat vállalható, de van következménye. A javasolt kockázatkezelést akkor kell végrehajtani, ha a veszteség nincs aránytalanul nagyobb arányban a végrehajtás által elért előnnyel szemben. A kockázati szintet a lehető legnagyobb mértékben csökkenteni kell, figyelembe véve költségének mértékét.
- általánosságban elfogadható tartomány, ebben az esetben nincs szükség további kockázatsökkentési módszer alkalmazására.

- COSO-keretrendszer, amelyet 1992-ben vezettek be az Amerikai Egyesült Államokban, legfőképp nagyvállalatok használták, azóta széles körben elterjedt és számos közszolgálati intézmény is alkalmazza az egységes belső ellenőrzési keretrendszert.

A COSO ERM kockázatviselési szintje azt mutatja meg, hogy a vezetőség mekkora kockázatot tart elfogadhatónak, milyen mértékű lehet a kockázati tolerancia elsődlegesen a gazdasági tevékenységek figyelembe vételével. Az események lehetnek negatív hatásúak, amelyek kockázatot jelentenek és megakadályozhatják az értékteremtést, illetve ronthatják a meglévő értéket, valamint lehetnek pozitív hatásúak, amelyek ellensúlyozhatják a negatív hatásokat vagy lehetőséget jelenthetnek a szervezet számára. (9. és 10. ábra)

Pozitív és negatív hatású események kombinációja is előfordulhat. A keretrendszer pozitívan befolyásolja a célok elérését, támogatja az értékteremtést és az értékmegőrzést.²¹ Rávilágít arra, hogy a lehetséges események milyen mértékben befolyásolhatják a vállalkozások és intézmények célkitűzéseit. Két szempont alapján értékeli a kockázatokat: valószínűség és hatás. A keretrendszer kvalitatív és kvantitatív kockázatértékelési módszerek kombinációját alkalmazza.

9. ábra. COSO kocka²²



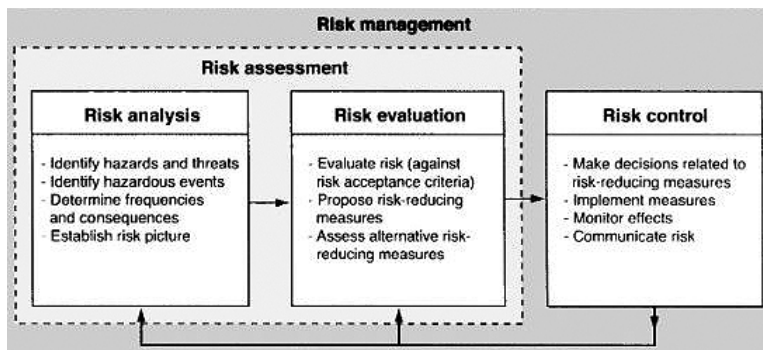
11. ábra. COSO kockázatértékelés

I M P A C T	High	<u>Medium Risk</u> • Loss of phones • Loss of computers	<u>High Risk</u> • Credit risk • Customer has a long wait • Customer can't get through • Customer can't get answers
	Low	<u>Low Risk</u> • Fraud • Lost transactions • Employee morale	<u>Medium Risk</u> • Entry errors • Equipment obsolescence • Repeat calls for same problem
		Low	High
		PROBABILITY	

– Kockázatértékelés matematikai számítási módszerei

A kockázatelemzés a rendelkezésre álló információk szisztematikus felhasználása a veszélyek azonosítására és az egyénekre, a tulajdonságokra, és a környezetre gyakorolt kockázat becsléséhez. (IEC 60300-3-9, 1995). A kockázatértékelés a kockázatelemzés és a kockázatszámítás vagy becslés átfogó folyamata. (11. ábra)

12. ábra. Kockázatértékelés, IEC 60300-3-9, (1995.) alapján



A kockázatértékelés alapelvei szerint a kockázatszámítás leegyszerűsített számítási módja:

$$R=C \times F$$

ahol az R (Risk) kockázat egy adott incidens vagy esemény bekövetkezésének gyakorisága vagy valószínűsége (F), valamint a következmény súlyosságának (C) a szorzata²³.

Komplex rendszerek esetén:

$$r = \sum_{t \in T} (p_t \times d_t)$$

Ahol

r – a rendszer biztonsági kockázata,

T – a releváns fenyegetések halmaza,

p_t – egy adott fenyegetés bekövetkezésének valószínűsége (gyakorisága)

d_t – egy adott fenyegetés bekövetkezéséből származó kár.²⁴

A kockázatszámítási módszerek lehetőséget biztosítanak a kockázat gyors értékelésére, ezáltal lehetőség van egy adott rendszer információbiztonsági kockázatainak felmérésére és meghatározására, valamint szükséges intézkedések megvalósításával az elvárható és elfogadható kockázati szint beállítására.

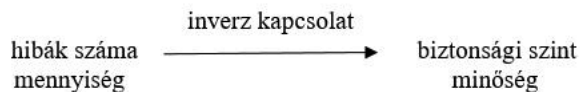
A kockázati mátrix (1. táblázat), olyan kétdimenziós számhalmaz, melynek függőleges tengelyén a veszélyeztető hatás következménye, vízszintes tengelyén a veszélyeztető hatás bekövetkezési valószínűsége (gyakorisága) található, és amelynek eredményeként megállapítható, hogy egy adott veszélyeztető hatás mekkora kockázatot jelent az adott rendszerre, objektumra.²⁵

1. táblázat. Kockázati mátrix táblázatos formában²⁶

Hatás	Bekövetkezési gyakoriság			
	Ritka	Nem gyakori	Gyakori	Nagyon gyakori
Nagyon súlyos	II. osztály	II. osztály	I. osztály	I. osztály
Súlyos	III. osztály	II. osztály	II. osztály	I. osztály
Nem súlyos	III. osztály	III. osztály	II. osztály	II. osztály
Alacsony	III. osztály	III. osztály	III. osztály	III. osztály

Számos matematikai számítási módszer szolgál a kockázatelemzésre, a maradványkockázat, valamint a hiba számosságának, úgymint a hibás folyamatok számosságának megállapítására, amely a rendszer biztonsági szintjének kvantitatív értékelését eredményezi. Ezekhez a módszerekhez összetettebb matematikai számítási folyamatok szükségesek, úgymint a HAZOP – Hazard Operability Analysis, a HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Points, az FMEA – Failure Mode Effects Analysis, vagy az FMCEA – Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Általánosságban megállapítható, hogy a hibák száma fordítottan arányos a biztonsági szint értékével (13. ábra).

13. ábra hibák száma és a biztonsági szint kapcsolata (saját szerkesztés)



Összegzés

A személyes adatok gyűjtése során a legújabb, érintés nélküli biometrikus adatgyűjtésnél ugyan úgy figyelembe kell venni az adatvédelmi és az információbiztonsági előírásokat egyaránt. Tekintettel arra, hogy a biometrikus adatok az adatvédelmi szabályok és alapfogalmak szerint különleges adatnak minősülnek, fokozottabb védelmet kívánnak. A biometrikus adatokat gyűjtő vállalatok esetenként elhanyagolják az információbiztonsági kockázatok felmérését és kezelését, ezáltal az intézkedési tervekből és a fejlesztésekből kimaradhatnak azok a tényezők, legfőképp a jelentős biztonsági rések kezelésére irányuló intézkedések, amelyek az incidensek elkerüléséhez, megelőzéséhez vezethetnek. Információbiztonsági szempontból tehát elengedhetetlen azon információs rendszerek kockázatkezelése, amelyek személyes adatokat gyűjtenek,

tárolnak és kezelnek. A kockázatok felmérésére, analizálására és kockázatértékelésre az elmúlt évtizedek során többféle, sokszor egymásra épülő, az információs technológiával szinte együtt fejlődő, számos modellt és módszert találhatunk, amely az adott információs rendszer esetében releváns lehet. A megfelelő, de speciális módszer kiválasztása mindig rendszerfüggő vagy iparágfüggő, hiszen más módszereket alkalmaz a repülésbiztonság, az egészségügy vagy a közigazgatás. A tanulmányban azon módszereket emeltem ki, amelyek alapelveit tekintve számos területen lehet használni, ezáltal alkalmazásuk is népszerűbb. Azon alapelvek és módszerek, amelyek legjobban szolgálják az alkalmazásuk célját, elősegítik a hatékony információbiztonsági kockázatkezelést, költséget takarítanak meg az adott szervezet számára, mivel az incidensek bekövetkezésének valószínűségét is csökkentik, közvetett módon pedig az információs rendszer biztonsági szintét növelik. Amennyiben a vállalatok és intézmények támogatják az információbiztonsági kockázatkezelési intézkedések hatékony végrehajtását, az érintett a biometrikus adatát is nagyobb biztonságban tudhatja.

Jegyzetek

¹ Federal Bureau of Investigation

² Czuni László (2015): *Biometria a számítógépes személyazonosításban – vizuális módszerek*. Egyetemi jegyzet. Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar, Képfeldolgozás Kutatólaboratórium.

³ How COVID Is Revolutionising Touchless Airport Technology, <https://simpleflying.com/touchless-airport-technology-covid/>. Letöltés: 2021. május 12.

⁴ Lawrence, Steve, et al. (1997): „*Face recognition: A convolutional neural-network approach*.” IEEE transactions on neural networks 8.1 Pp. 98–113.

⁵ Next Generation Identification (NGI)

⁶ FBI, Advanced Fingerprint Identification Technology (AFIT), <https://www.fbi.gov/services/cjis/fingerprints-and-other-biometrics/ngi>. Letöltés: 2021. május 5.

⁷ FBI, <https://www.fbi.gov/file-repository/ngi-monthly-fact-sheet/view>. Letöltés: 2021. május 5.

⁸ Nemzeti Adatvédelmi és Információszabadság Hatóság (NAIH), Az Adatvédelmi Hatóság vizsgálja a Facebook hangfelvétel leírási gyakorlatát (közlemény), <https://naih.hu/files/2019-08-14-kozlemen-y-FB-Messenger.pdf>. Letöltés: 2021. május 12.

⁹ Electronic Privacy Information Center, <https://epic.org/>

¹⁰ Transportation Security Administration (TSA), <https://www.epic.org/apacommments/EPIC-TSA-Pre-Check-Expansion-Comments.pdf>. Letöltés: 2021. május 5.

¹¹ Európai Bizottság, https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/reform/rules-business-and-organisations/principles-gdpr/what-data-can-we-process-and-under-which-conditions_hu, letöltés: 2021. május 12.

12 2011. évi CXII. törvény az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról.

¹³ Fenyegetés (Threat): olyan lehetséges művelet vagy esemény, amely sértheti az elektronikus információs rendszer vagy az elektronikus információs rendszer elemei védeltségét, biztonságát, továbbá olyan mulasztásalapú cselekmény, amely sértheti az elektronikus információs rendszer védeltségét, biztonságát.

¹⁴ Veszély: olyan személy vagy körülmények együttese, mely biztonsági esemény okozója lehet.

¹⁵ Seveso-irányelv I-III. Veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l21215&from=HU>, 1976-ban történt seveso-i katasztrófa következtében a balesetek megelőzésére és kezelésére vonatkozó jogszabály.

¹⁶ H.W. Heinrich (1941): *Industrial Accident Prevention, A Scientific Approach*. Second edition. New York–London: McGraw-Hill Book Company.

¹⁷ James Reason (1997): *Managing the Risk of Organizational Accident*. Routledge.

¹⁸ James Reason (2000): *Human error: models and management*.

¹⁹ Health and Safety Executive, <https://www.hse.gov.uk/managing/theory/index.htm>, letöltés: 2021. május 9.

²⁰ Reece, A.–Clothier, B. P.–Williams, N.–Fulton, L.–XunGuo Lin (2013): *ALARP and the Risk Management of Civil Unmanned Aircraft Systems*.

²¹ COSO Enterprise Risk Management – Integrated Framework, <https://www.coso.org/pages/erm-integratedframework.aspx>. Letöltés: 2021. május 9.

²² Az Európai Bizottság szervezeti irányítási rendszere: helyes gyakorlatok?, www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/sr16_27/sr_governance_hu.pdf, 2016. Luxembourg. Letöltés: 2021. május 9.

²³ Marvin Rausand, *Risk Assessment Theory, Methods, and Applications*, New Jersey, 2011.,

„Frequency analysis. This step will usually involve a deductive analysis to identify the causes of each hazardous event and to estimate the frequency of the hazardous event based on experience data and/or expert judgments.”

„Consequence analysis. Here, an inductive analysis is carried out to identify all potential sequences of events that can emerge from the hazardous event. The objective of the inductive analysis is usually to identify all potential end consequences and also their probability of occurrence.”

²⁴ Muha Lajos (2009): *Az informatikai biztonsági kockázatok elemzése*. Robothadviselés.

²⁵ NASA, *Risk Management Reporting*, 2009.

²⁶ 234/2011. (XI. 10.) Korm. rendelet, a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény végrehajtásáról, 2021. május 9-i állapot.

Az Edison programozási nyelv és szerepe a konkurens programozásban

Összefoglalás: A hetvenes évek egyik fő jellemzője a számítástechnikában az operációs rendszerek szerepének széleskörű elterjedése és fontosságának előre nem látott növekedése volt. Ennek oka egyrészt az alkalmazási területek gyors szaporodása, illetve azok komplexitásának növekedése, másrészt az integrált áramkörök technológiájának terén elért fejlődés volt. A mikroprocesszorok megjelenése megnyitotta az utat az elérhető áron hozzáférhető általános célú számítástechnikai rendszerek elterjedése előtt. Ezeknek a számítógéprendszereknek a hatékony kihasználásához pedig szükség volt új koncepciókon alapuló, megbízhatóan működő operációs rendszerekre, ami óriási hajtóerőt adott a konkurens programozás fejlődésének. A hetvenes-nyolcvanas évtizedekben számos új, e célból készült specializált programozási nyelv jelent meg. Jelen tanulmány célja bemutatni röviden az Edison programozási nyelvet, annak jelentőségét a konkurens programozásban, előnyeit és hátrányait, valamint hanyatlásának okait.

Kulcsszavak: Mikroprocesszorok megjelenése; Edison programozási nyelv.

Abstract: One of the main features of the 1970s in computing was the widespread use of operating systems and the unforeseen increase of their importance. This was partly due to the rapid proliferation of application fields and their increasing complexity, and partly due to the advances in integrated circuit technology. The advent of microprocessors has paved the way for the proliferation of affordable general-purpose computing systems, and the effective use of these computer systems required reliable operating systems based on new concepts, which gave a huge impetus to the development of concurrent programming. In the seventies and eighties, a number of new specialized programming languages developed for this purpose appeared. The aim of the present study is to briefly present the Edison programming

* Partiumi Keresztény
Egyetem, Nagyvárad
E-mail: zzakota@gmail.com

language, its importance in concurrent programming, its advantages and disadvantages, as well as the reasons for its decline.

Keywords: The advent of microprocessors; Edison programming language.

Párhuzamosság, multiprogramozás, konkurencia

A hetvenes évek közepére szinte általánossá vált a határtalan optimizmus a számítástechnika fejlődését illetően, melyet mi sem fejezett ki jobban, mint a „Moore-törvény” terminus megalkotása és bevezetése Carver Mead számítógéptudós által, és annak gyors és kvázi-általános elfogadása. [1] Míg a törvény elég hosszú ideig jól alkalmazhatónak tűnt hardver téren, a szoftvert illetően már kevésbé vált be: a programozási költségek ára jóval kisebb ütemben csökkent, mint a hardver elemeké. Ennek egyrészt munkaerőpiaci, másrészt specifikus, a tevékenység jellegéhez kötött okai voltak.

A PROGRAMOZÁS HATÉKONYSÁGA

Nyilvánvaló, hogy a programozás hatékonyságát vagy termelékenységét nem lehet úgy növelni, mint egy számítógép komponensét, az integráció fokának növelésével. Programozók esetében a hatékonyság, bármely elfogadott meghatározását is vizsgáljuk, nem változik extrém mértékben. „Míg az átlagos teljesítmény különbözhet programozók között, a programfejlesztési erőfeszítések eltérésének csak fele tudható be az inherens programozói készségnek; a másik fele az egyes fejlesztők napi változásain belül van. Vagyis a programozók ugyanannyiban különböznek önmaguktól, mint a csoport többi tagjától.” [2]

Számos forrás egyetért abban, hogy az egy programozó által naponta megírt kódsorok száma nem változik jelentős mértékben a felhasznált nyelv típusának függvényében. A szóbanforgó időszakban, még nem álltak kellő mennyiségben rendelkezésre olyan szoftvereszközök, amelyekkel, legalábbis részben, automatizálni lehessen a programozási tevékenységet. Tehát, mindenképpen előnyös a magas szintű, erős utasításkészlettel rendelkező nyelvek használata. Mindez komoly motivációs tényezőként járult hozzá, hogy új magasszintű programozási nyelvek születhessenek egy relatíve rövid időszakon belül.

A hetvenes évekre, a számítógépek gyors technikai fejlődésének és a nagyméretű, komplex szoftverek iránti igény megjelenésének összjátékából előállt helyzetet nagyon jól illusztrálja E. W. Dijkstra egyik klasszikus szövege, amelyben felhívja a figyelmet egy új programozási filozófia kialakításának szükségességére. „Ha az embernek rendelkezésére áll egy nagyteljesítményű elektronikus számológép, azt ki is akarja használni. Ennélfogva a megoldandó problémák mérete alkalmazkodik a rendelkezésre álló berendezéshez [...] Fel kell ismernünk, hogy a programozás már ma is inkább a bonyolultság megszervezésének, a nagy méretekkel járó káosz lehető leghatékonyabb elkerülésének a művészete.” [3]

STRUKTURÁLT PROGRAMOZÁS

A megoldást a programozásnak erre a „krízisére” a strukturált programozási paradigma megjelenése jelentette. A kezdő momentumnak hagyományosan Dijkstra 1968-as, a *Communications of the ACM*-ben megjelent levelét tekintjük, melyben a goto-utasítás nyakló nélküli használatára hívja fel a figyelmet. [4] A strukturált programozás elmélete két nagyszerű könyvben lett bemutatva. Az első 1972-ben jelent meg, az O.-J. Dahl, E. W. Dijkstra és C. A. R. Hoare szerzőhármassal névvel fémjelzett *Strukturált programozás* [5], magyarul [6]), melyből fennebb idéztem. Rá néhány évre, 1976-ban, következett egy másik alapmű, Niklaus Wirth *Algoritmuskok + Adatstrukturák = Programok* című műve [7], magyarul [8].

Utóbbi könyv jelentőségét az is növeli, hogy ebben kerül részletes bemutatásra alkalmazási szinten is a, szintén Wirth által kidolgozott, a strukturált programozás paradigmáját módszeresen implementáló Pascal programozási nyelv. [9] A Pascalt az Algol 60 alapján fejlesztették ki, de hozzá képest alkalmazhatósága jelentősen megnövekedett, a sokféle adatstrukturálási lehetőség miatt. A nyelv megalkotásakor két fő szempontra voltak tekintettel: a programozás megtanulásának kényelmes alapjaként, illetve a nagy programok megírásának hatékony eszközeként történő felhasználásra. Ezért nagy hangsúlyt fektettek az alapfogalmak számának csekély voltára, az egyszerű és szisztematikus nyelvi struktúrára, valamint a hatékony megvalósíthatóságra. Ezen okok miatt, a Pascal valószínűleg minden idők legelegánsabb és egyik legnépszerűbb programozási nyelvévé vált. A CDC 6000 számítógépcsalád számára készítettek egy egylépcsős fordítót, amely teljes egészében Pascalban íródott. Számtalan variánsát implementálták a legváltozatosabb számítógéprendszerekre. Számos programozási nyelvre volt meghatározó befolyással, amelyek között ott van az írásban később szereplő konkurens nyelvek nagy része is.

Megjelenésük után, körülbelül a hetvenes évekig, a számítógépprogramok szekvenciálisak voltak, vagyis a gép egy program utasításait a programozó által a programban meghatározott sorrendben hajtotta végre. A szekvenciális programok esetében, a determinisztikus jelleg prevalált, miszerint minden lépés pontosan, egyértelműen kell legyen megfogalmazva és ugyanazon kiindulási adatokra tetszőleges számú végrehajtás esetén ugyanazt az eredményt szolgáltatassa. Hibamentes programok esetén nagy valószínűséggel lehetett számítani rá, hogy azonos bemenet mellett, többszöri futtatás esetén is ugyanúgy működnek. Egy szekvenciális program esetében, egy adott lépés végrehajtása csak aztán kezdődik el, hogy az őt megelőző lépés végrehajtása befejeződött.

PÁRHUZAMOSSÁG, KONKURENCIA, VALÓS IDEJŰ FELDOLGOZÁS

A megszakítással rendelkező számítógépek megjelenése után a programok egy részét már nem lehetett egyetlen szekvenciális utasítássornak tekinteni, mivel annak egyes részei egyidőben, vagy időben átlapolva, kerültek végrehajtásra. Az addigi szekvenciális programozás mellett kialakult a multiprogramozás is, amint azt Niklaus Wirth röviden összefoglalja egyik írásának elején: „A programok validálásához szükséges gondolatmenetek bonyolultabbá válásával, a programozás három fő kategóriára oszlik: szekvenciális programozás, multiprogramozás és valós idejű programozás. Egy szigorú programozási fegyelem betartásával és az e fegyelem alapján kialakított megfelelő magas szintű nyelv használatával drasztikusan csökkenthető a párhuzamosság és a végrehajtás időbeli korlátozásával kapcsolatos okfejtés bonyolultsága. Ez lehet az egyetlen gyakorlati módszer a valós idejű rendszerek analitikusan ellenőrizhetővé és végső soron megbízhatóvá tételéhez.” [10]

A multiprogramozás a párhuzamos feldolgozás egy kezdetleges formája, amelyben több program fut egyszerre egy uniprocesszor rendszerben. Mivel a rendszer csak egy processzort tartalmaz, a különböző programok, értelemszerűen, nem hajthatók egyidejűleg végre. Valójában, az operációs rendszer végrehajtja az egyik program egy részét, majd egy másiknak egy részét és így tovább. Csak a felhasználó számára tűnik úgy, hogy az összes program egyszerre fut.

Ha egy multiprogram olyan részeket (folyamatokat, processzeket) is tartalmaz, amelyeknek futási idejére valamilyen korlátozó feltételnek is teljesülnie kell, akkor a feladat már a valós idejű (real-time) programozás körébe tartozik. A valós idejű, illetve multiprogramok közös tulajdonsága, hogy azonos bemenet esetén is működhetnek különböző módon és ezek egy része helyes, míg egy másik része hibás. Az ilyen programok működése általában nem determinisztikus, ami nagy mértékben megnehezíti a tervezésüket és ellenőrzésüket. Például tartalmazhatnak olyan hibákat, amelyek nem reprodukálhatók, és így szinte lehetetlen megtalálni azokat. Ezért, az ilyen programok esetében igyekezni kell olyan programozási nyelveket használni, amelyek már a szintaxis szintjén is tartalmaznak beépített biztonsági mechanizmusokat.

A multiprogramozás implementálásának egyik alapelve a konkurencia volt. Ezt a célt szolgálták a konkurens programozási nyelvek, amelyek a folyamatok vagy végrehajtási szálak egyidejű végrehajtásának koncepcióját használják egy program strukturálásának eszközeként. A másik alapelv a párhuzamosság. A párhuzamos nyelvek olyan programok megírására alkalmasak, amelyek több processzoron is futtathatóak. A konkurencia hasznos eszköz a párhuzamosság kifejezésében, de nem feltétlenül szükséges. A specifikus funkciók, mindkét esetben, a nyelv szintaxisának kell részét képezzék és nem holmi kiterjesztésnek, mint például egy könyvtárnak. Meg kell itt jegyezzük, hogy ez a megkülönböztetés konkurencia és párhuzamosság között inkább csak elméleti jellegű, mivel a szerzők nagy része is sokszor szinonimaként kezeli a két fogalmat.

Komoly lendületet adott a konkurens programozás fejlődésének az operációs rendszerek terén bekövetkezett előrelépés. A hetvenes évekre nyilvánvalóvá vált azok kitüntetett szerepe és fontossága a számítógéprendszerekben. Ennek oka egyrészt az alkalmazások területének kiterjesztése, illetve komplexitásának növekedése, másrészt az integrált áramkörök technológiájának terén elért látványos fejlődés volt. A mikroprocesszorok megjelenésével és széleskörű ipari felhasználásával megnyílt az út az elérhető áron hozzáférhető általános célú számítástechnikai rendszerek elterjedése előtt. Ezek hatékony kihasználásához pedig szükség volt új koncepciókon alapuló, megbízhatóan működő operációs rendszerekre. Mindez óriási hajtóerőt jelentett a konkurens programozás fejlődése számára, mind az elmélet, mind pedig a gyakorlat terén.

Minden operációs rendszer egyik alapvető problémája a párhuzamosan futó tevékenységek kontrollja. A gondot, egyrészt a rendszerkövetelmények, illetve célkitűzések, másrészt a hardver által megvont határok alkotják. Funkcionális szempontból tekintve, a rendszer a folyamat (processz) fogalmának segítségével írható le, ami egy a program végrehajtásához szükséges dinamikus entitás. Két vagy több folyamat konkurens végrehajtása feltételezi valamely kritikus mértékben rendelkezésre álló erőforrás megosztását. Ez megvalósítható exkluzív módon, szekvenciálisan használva azt egy-egy folyamat által, vagy több folyamat együttműködésével. Az utóbbi esetben szükség van a folyamatok közötti jel- és adatcserére, illetve a végrehajtásuk szinkronizálására, elkerülendő a nemkívánt kölcsönhatásokat.

A konkurencia alapelve nagyon egyszerűen megragadható: konkurencia = párhuzamosság + interakció. A párhuzamosság egymástól független programok/programrészek (folyamatok, processzek, taskok) időben (részben) egybeeső végrehajtását, míg az interakció a közöttük zajló (feltétlenül szükséges) kommunikációt jelenti. A konkurens kifejezés szerencsésen utal egyrészt arra, hogy a folyamatok versengenek egymással a különböző rendszererőforrások használatáért, másrészt pedig arra, hogy együttműködnek a közös feladat megoldásában.

A folyamat, mint a párhuzamos feldolgozás alapegysége, négy fontos tulajdonsággal rendelkezik:

- osztatlan: a folyamat, a konkurencia szempontjából elemi egységnek számít, nem tartalmaz olyan alegységeket/részeket, amelyek autonóm módon rendelkeznek különböző erőforrások felett;
- szekvenciális: egy adott folyamat végrehajtása tisztán szekvenciális, nem tartalmaz semminemű párhuzamosságot;
- aszinkron: a folyamatok relatíve független módon, egymással párhuzamosan futnak, kivéve a szinkronizálás során folyó kommunikációt;
- időszakos: egy folyamat csak a végrehajtásának megkezdése és annak befejezése közötti időtartam alatt létezik.

A folyamatok közötti interakciónak három alapvető formája van:

- kölcsönös kizárás: amikor egy folyamat egy adott erőforrás felett rendelkezik, más folyamatok nem interferálhatnak vele;
- szinkronizálás: a folyamatok közötti együttműködés időbeli feltételeinek szabályozása;
- egymás közti kommunikálás: folyamatok közötti üzenetcsere, amely tekinthető a szinkronizálás egy specifikus módjának is.

A konkurens programozási technikák óriási előrelépést jelentettek nem csak a modern operációs rendszerek megvalósításában, hanem a valós idejű rendszerek és implice a folyamatvezérlés kifejlesztésében is.

Konkurens programozási nyelvek

Az operációs rendszerek terén zajló kutató- és fejlesztőmunka számos konkurens programozási nyelv kidolgozását eredményezte a hetvenes évek folyamán. Ahogy az komplex fejlődési folyamatokban történni szokott, ezek némelyike sikeres volt, némelyike nem, egyesek utódnyelveket produkáltak, mások nem, egyesek széles körben ismertté váltak, míg mások csak szűk szakmai berkekben voltak használatosak. A legismertebb konkurens programozási nyelvek közé tartoznak a Concurrent Pascal, a Modula-2, vagy az Ada.

A szakirodalom megkülönböztet ugyan konkurens és valós idejű (real time) programozási nyelveket, de ez az osztályozás inkább csak elméleti jellegű lévén, hogy a gyakorlatban ezek nagymértékben fedik egymást. A valós idejű programozási nyelvek jórésze implementálja a konkurencia elveit és amelyik ezt nem teszi meg, az is lehetővé kell tegye azok megvalósítását a gyakorlati kódolás során. A következő felsorolásban jómagam sem alkalmazom a szigorú elméleti kategorizálást, nem tartván azt célszerűnek a jelen kontextusban.

CONCURRENT PASCAL

A Concurrent Pascal (Konkurens Pascal) nyelvet Per Brinch Hansen alkotta meg 1972–75 között. Célja az volt vele, „[...] hogy az operációs rendszerek számára azt tegye, amit a szekvenciális Pascal a fordítók számára: a programozási erőfeszítés nagyságrenddel való csökkentését. A Concurrent Pascal kiterjeszti a szekvenciális Pascalt konkurens folyamatokkal és monitorokkal.” [11]

Ez az első célorientált megvalósítása egy konkurens programozási nyelvnek, amely messze meghaladta a konkurencia megvalósítására tett megelőző kísérleteket, mint amilyen a PL/I vagy az Algol 68 voltak. A szekvenciális Pascal egy megfelelően strukturált alapot képezett az új elvek biztonságos befogadására. A

szintaxisát kibővítették szükséges új kategóriákkal úgy, mint az előzőekben említett folyamatokkal, illetve a Dijkstra által 1971-ben javasolt és Hoare [12], valamint Brinch Hansen által kifejlesztett monitorokkal [13] és a Dahl által 1967-ben, a Simula-ban bevezetett osztályokkal [14].

Bár a konkurens Pascal számos jó tulajdonsággal rendelkezett, amiknek egy részét a szekvenciális Pascalból örökölte, másik részét pedig néhány akkoriban modernnek számító alapelv beépítéséből nyerte. Sajnos, a programozás terén lezajló gyors fejlődés miatt megjelenő újabb nyelvek hamar kiszorították és így nem válthatta be a hozzá fűzött reményeket. Maga Per Brinch Hansen, a megalkotója, is új konkurens nyelvvel rukkolt elő alig fél évtized múltán. Mégis, számítástechnikatörténeti jelentősége megkérdőjelezhetetlen marad.

MESA

A Mesa egy Algol-alapú nyelv, melyet eredetileg a Számítógépes Rendszerek Laboratóriumában (CSL), a Xerox Palo Alto-i Kutatóközpontjának egyik fiókjában terveztek meg az Alto, egy kísérleti mikrodólt munkaállomás, számára. Használata, kezdetben, a PARC-ra és néhány olyan egyetemre korlátozódott, amelyeknek a Xerox adományozott néhány Altot. A Mesát később a Xerox kereskedelmi munkaállomása-inak rendszerprogramozási nyelveként fogadták el.

A Mesa nyelv egy programozási rendszer eleme, amelynek célja a rendszerek és az alkalmazások széles skálájának fejlesztése és karbantartása. Különálló modulokból álló rendszerek fejlesztését támogatja, ellenőrzött információmegosztással. A nyelv olyan lehetőségeket foglal magában, mint a felhasználó által definiált adattípusok, típusok és interfészek szigorú ellenőrzését a kompiláció alatt, procedúra- és korutinvezérlő mechanizmusokat, valamint a konkurencia és a kivételek kezelésére szolgáló vezérlőstruktúrákat. [15]

Az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma megkereste a Xeroxot, hogy használhassa a Mesát az „IronMan” programozási nyelvéhez, de a Xerox elutasította. A Xerox PARC munkatársai azzal érveltek, hogy a Mesa olyan előnyt jelent a cég számára, amely produktívabbá teszi a Xerox szoftvermérnökeket, mint más vállalatok mérnökei. A Védelmi Minisztérium ehelyett végül a jelöltek közül az Ada programozási nyelvet választotta és fejlesztette ki. 1976-ban, a Xerox PARC-ban, Niklaus Wirth megismerkedett a Mesával, amely nagy hatással volt Modula-2 nyelvének kialakítására, melyre úgy hivatkozik egyik alkalommal, mint a Pascal és a Mesa egy keverékére. [16]

MODULA

A Modula (MODULAr Programming Language – Moduláris Programozási Nyelv) elsősorban dedikált számítógépes rendszerek programozására szolgált, beleértve kisebb gépeken futó folyamatirányító rendszereket is. Nagyrészt a Pascalra épült, de bevezetve egy addicionális modulstruktúrát is. A modul olyan eljárások, adattípusok és változók halmaza, amelyben a programozó pontosan ellenőrzi a környezetből importált és az abba exportált neveket. A Modula tartalmaz általános multiprocesszálást megvalósító eszközöket, nevezetesen folyamatokat, interfész modulokat és jeleket. Lehetővé teszi ugyanakkor adott perifériás eszközök specifikálását is. [17] A nyelv fő célkitűzése az assembler-szintű programozás kiiktatása volt kisméretű rendszerek számára készült valós idejű alkalmazások esetében. Ugyanakkor kompakt, konkurens és fizikai szinten kezeli a ki- és bemeneteket.

MODULA-2

A Modula-2 nyelvet Niklaus Wirth alkotta meg 1977-80 között, a szintén általa készített Pascal és Modula nyelvekre alapozva. „Míg a Pascalt általános célú nyelvként tervezték meg és az 1970-es bevezetése után széles körben elterjedt, a Modula a multiprogramozással kapcsolatos kísérletekből született meg, ezért az adott alkalmazási terület releváns szempontjaira összpontosított. Kísérleti jelleggel 1975-ben definiálták és implementálták.” [18, p. 3] Első implementálása a PDP 11 minirendszerre történt, 1979-ben.

Az utódnyelv, a Modula-2, megpróbálja összeegyeztetni a rendszertervezés és a fizikai szintű programozás követelményeit, egybehangolva a Pascal és a Modula jellemzőit. A Pascal-hoz képest a modul és folyamat elvekkkel bővül, valamint a procedúra típussal és gépi szintű programozási lehetőségekkel. A modularitásnak köszönhetően, bár a rendszerprogramozásban használatos, nagy mértékben megőrizte gépfüggetlenségét és a Pascalból örökölt átláthatóságát és egyszerűségét.

ADA

Az Ada egy majdnem 5 évig, 1974-től 1979-ig tartó többszakaszos szelekciós folyamat eredményeként született meg. A CII-Honeywell Bull-nál alkotta meg egy Jean D. Ichbiah által vezetett munkacsoport, amely 1980-ban publikálja a referencia kézikönyvet [19], mely szerint „[a]z Ada nyelv egy közös tervezési erőfeszítés eredménye, nagyméretű és valós idejű rendszerek programozására.” [19] „Az Ada-t három nyomós indok alapján tervezték: a programok megbízhatósága és karbantarthatósága fontosságának elismerése, a programozás, mint emberi tevékenység iránti odafigyelés és a hatékonyság.” [19]

Az Ada-ra befolyással lévő elődnyelvek közül megemlíthetők a Pascal és rokonai (Euclid, Mesa, Modula), illetve az Algol 68 és a Simula.

A nyelv kifejlesztésével párhuzamosan zajlott a programozási közeg kialakítása is, APSE (Ada Programming Support Environment) néven. 1985-re létre is jött egy, de fordítóprogramból ekkora már 12 van validálva, többek között személyes számítógépekre is. Ugyanekkor már két nagyméretű Ada-ban megírt repülésirányító rendszer is működött, amelyek elokvensen bizonyították a nyelv erejét valós idejű környezetben.

Amint azt fennebb is idéztük, az Ada megalkotását három fő célkitűzés vezérelte:

- robusztusság és karbantarthatóság: átláthatóság, jóldefiniált típusok, külön kompilálás, kivételek kezelése;
- a programozás hatékonysága: az alkalmazási területek változatosságához képest viszonylag kisméretű nyelv, moduláris koncepció, privát típusok, generikus egységek;
- a programok hatékonysága: a kódös vagy drága megoldások elkerülése.

Megalkotói az Ada-t amolyan univerzális nyelvnek szánták, de az időközben bekövetkezett gyors technológiai változások (is) más irányba terelték a szoftverfejlesztést. Mindezek dacára tagadhatatlan, hogy a nyelv határkő a valós idejű programozás terén, főleg nagyméretű rendszerek tervezésében.

PORTAL

Megemlíthetjük még itt az 1978-ban publikált Portal nyelvet is [20], amelyet a svájci Landys–Gyr vállalatnál implementáltak az Eidgenössische Technische Hochschule Zürich-hel együttműködve, mind PDP 11, illetve NOVA 3 miniszámítógépes rendszerekre, mind pedig Intel 8080 mikroprocesszorra. A Portal képes összefogni egyedi programozók által tervezett részprogramokat oly módon, hogy azokból egy hierarchikus egységekből álló program keletkezzen, jól definiált interfészekkel. A nyelv magas szintű biztonságot képes nyújtani, magában foglalva párhuzamos számítási tevékenységek programozásának a lehetőségét, illetve több párhuzamosan működő program vezérlését is. Megvalósításakor különösképpen a valós idejű programozás követelményeit vették figyelembe, ezért a nyelv minden olyan alkalmazáshoz használható, amelyben az idő fontos szerepet játszik.

RTL/2

Egy szintén valós idejű programozási célokra készült nyelv az RTL/2 is, amint azt a neve is mutatja (Real Time Language 2). Ezt John G. P. Barnes tervezte az Imperial Chemical Industries (ICI) Ltd. számára

1971-ben, amit 1972-ben követett az implementálás ICI System 4 és PDP 11 rendszereken, majd 1974-ben külsőleg is hozzáférhetővé vált az SPL International által, végül 1980-ban vált brit szabvánnyá. [21] Létrehozásának fő indokai egyrészt a valós idejű alkalmazások programozási és karbantartási költségeinek a csökkentése, másrészt a programozás alapelveinek életbe ültetése volt.

Az RTL/2, nevének dacára, nem tartalmaz a valós idejű programozásra jellemző specifikus utasításokat. A konkurenciát vagy a fizikai szintű ki- és bemenetet hagyományos módon, az operációs rendszerrel való interfészen keresztül kell megvalósítani. Ennek előnye a nagyfokú rugalmasság és az alacsony erőforrásigény. Ám ez ugyanakkor rontja a hordozhatóságot és a robusztusságot. Mindezek folyományaként, az RTL/2 egy kompakt és hatékony nyelv, mely megfelelő lehetőségeket nyújt a strukturált kódolás megvalósítására, ám kevésbé alkalmas az adatok strukturálására. Sajnos szekvenciális jellege nem teszi alkalmassá komplex valós idejű programok megírására.

Az RTL/2 előzménye egy RTL/1 nevű kísérleti prototípus volt. Elsődlegesen az Algol-68-ból származik, lecsökkentve annak hatalmas méretét és kiegészítve azt néhány hasznos tulajdonsággal, mint: moduláris programstruktúra, külön fordítás és hatékony lebegővesszős műveletek. Amint azt említettem, számos hiányossága van, de mindezek ellenére a kora hetvenes évek egyik legsikeresebb valós idejű és egyik leg-reprezentatívabb Algol-alapú programozási nyelve.

FORTH

A Forth programozási nyelv sem egy konkurens nyelv, a konkurencia megvalósítása adott esetben a programozóra lévén bízva. Charles Henry Moore, az arizonai Kitt Peak obszervatórium csillagásza alakította ki cirka egy évtized alatt, az 1960-as évek elejétől 1971-ig. Célja egy olyan könnyed, rugalmas és gyors nyelv megalkotása volt, amely ugyanakkor egy korlátlanul bővíthető utasításkészlettel is rendelkezik [22].

A nyelv bemutatása után következett Moore találkozása Elizabeth Ratherrel a US National Radio Astronomy Observatory-tól, akivel közösen megalakították a FORTH Inc. vállalatot [23], amit számos fejlesztés, verzió, illetve szabvány követett. 1976-tól kezdenek megjelenni a microFORTH fejlesztések Intel 8080, Motorola 6800 és Zilog Z80 mikroprocesszorokra, majd 1978-ban az első rezidens Forth szoftver az Intel 8086 chipre. Több szabvány is születik, így a FORTH-79, a FORTH-83, majd az 1994-es ANS Forth (ANSI) szabvány. 1984-ben megjelenik a MacFORTH, az első rezidens fejlesztés Apple Macintoshra.

A Forthnak számos olyan jellemzője van, amely, ha nem is emeli a legnépszerűbb programozási nyelvek közé, de felhasználói táborán belül igen magas megelégedettség forrása. Ezek közé a jellemzők közé tartozik a láncolt kódú interpretéren alapuló interaktivitás, illetve a kompilálhatóság. Fontos jellemzője, hogy túl az imperatív és procedurális jellegen, a nyelv szótárszerűen kiterjeszthető. Specifikuma, hogy vermekre alapozott és a fordított lengyel jelölést használja, ami eléggé egzotikus jelleget kölcsönöz neki a

programozási nyelvek között. A Forth strukturált, reflexív és konkatenatív, de explicit nyelvtan és típusellenőrzés nélküli nyelv.

A nyelvnek számos előnye van, ami miatt igencsak népszerű a gyakorlott programozók körében [24]. Ilyen a teljes programozási környezet biztosítása, ami lehetővé teszi a gyors szoftverfejlesztést, a bővíthetőség, a portabilitás, a kis erőforrásigény és a gyors működés. Mivel könnyű interaktív kapcsolatot biztosítani a fejlesztővel és a felhasználóval, ez nagy mértékben növeli a felhasználóbarátságát. Nagy előnye még, hogy az előbb felsorolt tulajdonságokból kifolyólag, jól használható a mikrorendszerek megvalósításában.

Mivel lehetővé teszi a multitaskingot, alkalmazási területei igen változatosak és kiterjedtek, jóval meghaladva a valós idejű alkalmazások korlátait. Ezek között olyanokat említhetünk meg, természetesen nem kizáró jelleggel, mint a szövegfeldolgozás, adatbáziskezelés, robotvezérlés, folyamatirányítás, számítógépes grafika, oktatás. [24]

Az Edison konkurens programozási nyelv

A fennebb bemutatott jeles társaságba tartozik a, szintén Per Brinch Hansen által megalkotott, Edison konkurens programozási nyelv is. Az Edisont 1978–80 között definiálták, majd 1980-ban implementálták. A megrendelő a Mostek volt, amely szeretett volna egy multiprocesszor rendszerekre adaptált valós idejű nyelvet.

CÉLKITŰZÉSEK ÉS ALKALMAZÁS

A megrendelő által kitűzött cél bővült és ennek eredményeként egy elég erős nyelv született ahhoz, hogy saját fordítóprogramjait, illetve egyszerű operációs rendszereket is meg lehessen írni benne. A nyelv nem vezet be új gondolatokat, inkább a már kipróbált eszközöket alkalmazza egy a Pascalnál egyszerűbb és a Concurrent Pascalnál erősebb nyelv létrehozására. [25]

Saját bevallása szerint, az Edison programozási nyelv megtervezésével, Brinch Hansen két fő célt követett:

- (1) egyszerűséget elérni, minek érdekében megkérdőjelezte számos jól ismert nyelvi fogalom szükségességét, ami fokozatosan oda vezetett, hogy kihagyott számos, a Pascal és a Concurrent Pascal programozási nyelvek értékes tulajdonságának tekintett nyelvi elemet (típusok, monitorok, folyamatok);
- (2) új betekintést nyerni a nyelvtervezésbe egy teljesen új megközelítéssel, amely szándékosan eltér attól a szellemtől, amelyben a Concurrent Pascalt megtervezték. [26]

PROGRAMSZERKEZET

Végül is az alkotónak sikerült célkitűzéseit megvalósítani és azok eredményeként az Edison egy egyszerű és kompakt nyelv lett, amelyben a konkurens programozás alapelvei úgy, mint modularitás, párhuzamos-ság és szinkronizálás elkülönülnek egymástól. A nyelv mechanizmusai általánosak és kevés megszorítást, ám ugyanakkor kevés könnyítést is tartalmaznak.

Egy Edison program állandók és típusok (opcionális) deklarációjából áll, melyet egy teljes procedura deklaráció követ. Ez utóbbi fejrészből és törzsből áll, mely törzs szintén deklarációkból, valamint utasításokból áll. A teljes programok, a modulok és procedúrák mind blokkokként viselkednek. A blokkokat egymásba illesztve újabb blokkokat lehet alkotni.

A modul névvel ellátott entitások (konstansok, változók, procedúrák) egy csoportja, amelyek két kategóriába sorolhatók: helyi entitások, amelyek csak a modulon belül használhatók, illetve exportált entitások, amelyek mind a modulon belül, mind az azt közvetlenül körülvevő blokkon belül használhatók. A modul entitásai mindaddig léteznek, amíg a közvetlenül körülvevő blokk entitásai is. A modul arra szolgál, hogy helyi entitásait csak jól meghatározott procedúrák működtethessék, amelyeket a modulból a közvetlen környező blokkba exportálnak. Annak biztosítására, hogy a helyi változókat inicializálják használatuk előtt, egy modul tartalmaz egy utasításrészt, amelyet a modul entitások létrehozásakor hajtanak végre. [27]

Az Edison programok használhatnak könyvtárakat is, vagyis külön kompilált procedúrákból álló specifikus gyűjteményeket. Ezeket a procedúrákat a programból lehet meghívni a *lib* kulcsszó és egy könyvtárkulcs, egy implementálásfüggő szerkezet segítségével.

TÍPUSOK ÉS ADATSTRUKTÚRÁK

Az Edisonbeli adattípusok hasonlítanak a Pascaléra, de csak három predefiniált adattípus van a nyelvben: *int*, *char* és *bool*. A típusok diszjunktak, nincsenek a nyelvben altípusok, sem derivált (származtatott), sem pedig anonim típusok. Ez az egyszerűség kiiktatja a típusok ekvivalálásából származó ambiguitásokat és növeli a nyelv robusztusságát.

Lehetőség van összetett típusok definiálására is, így például zárójelek segítségével definiálhatók felsorolástípusok, halmazok, tömbök vagy rekordok. A tömbök csak egydimenziósak lehetnek, a rekordok pedig nem tartalmazhatnak variánsokat. Egy rekord különböző mezőit a Pascalból is jól ismert pont (.) operátorral lehet elérni.

Ami az operátorokat illeti, azoknak működése a Pascalbeli megfelelőikhez hasonlatos. Bevezeti viszont az Edison a *constructor* műveletet, amelynek segítségével két diszkrét típus értékei közötti megfeleltetést, gyakorlatilag egy szigorúan ellenőrzött egyszerű típuskonverziót, lehet megvalósítani. [27]

UTASÍTÁSOK ÉS VEZÉRLÉSI STRUKTÚRÁK

Az Edison hét utasítást tartalmaz, ebből kettő, az értékadás (asszignálás) és a procedúrahívás az általánosan elfogadottak. Van még egy üres utasítás is, a *skip*, végrehajtásának nincs semmi hatása és mindig végez. Az *if* és a *while* utasítások Pascalbeli megfelelőik általánosításai. A nyelv két specifikus, a valós idejű programozást lehetővé tevő, utasítást tartalmaz. Egyik a *when* szinkronizálási, másik pedig a *cobegin* konkurens utasítás.

A *when* szintaktikailag közel áll az *if*, illetve *while* utasításokhoz, amennyiben mindhárom valamilyen utasításszekvenciát hajt végre adott logikai kifejezés igazságértékének függvényében. A *when* tulajdonképpen a Hoare által korábban javasolt feltételes kritikus szekció (conditional critical region) fogalom [28] általánosított megvalósítása [29]. Az utasításnak két fázisa van: a szinkronizálás és a tulajdonképpeni végrehajtás. A szinkronizálás alatt a folyamat blokkolva van mindaddig, míg a feltétel nem teljesül, ami azt jelenti, hogy egyetlen más folyamat sem áll a kritikus szekcióban végrehajtás alatt. Mivel egy adott pillanatban csak egyetlen folyamat hajthatja végre a *when*-ben szereplő szinkronizált utasítást, a szinkronizálással egyszerre a kölcsönös kizárás is megvalósul.

A konkurens utasítás szerepe, hogy létrehozzon egy tetszőleges számú párhuzamos folyamatot és kezdeményezze azok végrehajtását. Az utasítás akkor fejeződik be, amikor az általa létrehozott összes folyamat befejeződött. A konkurens Pascaltól eltérően, az Edison megengedi a folyamatok dinamikus létrehozását és megsemmisítését, de azzal a kitételrel, hogy az egyidejűleg történik mindnek a számára.

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK

Egyik tanulmányában, Per Brinch Hansen ezt írja az Edison lehetséges felhasználási területeiről: „[a] nyelv alkalmas mind a konkurens programozás elveinek tanítására, mind pedig megbízható valós idejű programok tervezésére egy többprocesszoros rendszer számára.” Ugyanott még ezt is olvashatjuk: „[a]z Edison kialakításának legfőbb gondja az egyszerűség elérése volt a közepes méretű, 1000-2000 soros szöveges programok tervezésében. Ez a cél néhány, a moduláris programozáshoz szükséges, elvont fogalom kiválasztásához vezetett. Különösen a modularitás, az egyidejűség és a szinkronizálás kívánalmait osztottuk szét különálló nyelvi jellemzőkre.” [27]

Ezek a célkitűzések, figyelembe véve azt is, hogy elsősorban olcsó, mikroprocesszor-alapú párhuzamos feldolgozást megvalósító rendszerek számára készült, bizonyos mértékben behatárolták a felhasználási területeit. Ez a nyelv relatíve alacsony robusztusságában is tükröződik. Mégis, az Edisont hatékonyan alkalmazták nem túl nagyméretű alkalmazások készítésére kisméretű mono- és multiprocesszor rendszerek esetében, operációs rendszerek vagy a saját programozási környezetei megírására.

ELŐNYÖK ÉS HÁTRÁNYOK

Az Edisont általában a konkurens Pascallal összevetve szokás minősíteni. Maga Per Brinch Hansen is így jár el, mikor róla ír. „Az Edison hozzáadott rugalmasságát (és bizonytalanságát) a Concurrent Pascalhoz képest egyesek visszalépésnek, mások kihívásnak fogják tekinteni. Számomra ez egyszerűen egy kísérlet, amely vagy megerősíti, vagy ellentmond annak a jelenlegi érzésemnek, hogy a programozási nyelvektől nem várható el a komplex absztrakciók támogatása, hanem ehelyett meglehetősen kényelmessé kell tenniük olyan programozási stílusok adoptálását, amelyek egyszerűbb fogalmakat használnak a bonyolultabbak felépítéséhez. Mondanom sem kell, hogy ez a programozási nyelv kialakítását egy kényes egyensúly megtalálásává teszi az asszembler nyelv anarchiája és a magasan specializált nyelvek kényszerzubbonya között.” [26] Az Edison esetében, Brinch Hansen egyértelműen az asszembler rugalmassága és óhatatlanul, alacsony biztonsága irányába mozdította el az említett egyensúlyt.

A nyelv előnyei főként egyszerűségéből eredeztethetőek. Ezek között meg kell említeni a következőket:

- a fordítóprogram és a forráskód kis mérete;
- az adattípusok definiálásának és konvertálásának egyszerűsége;
- a komplex adatstruktúrák hiánya;
- az utasítások kis száma;
- a konkurencia implementálásának egyszerűsége;
- a könyvtárak használatának biztosítása;
- a nyelv adaptálása multiprocesszor rendszerekre.

A hátrányai nagyrészt ugyancsak az egyszerűségéből, illetve a fennebb említett programozási filozófiából fakadnak. Így például:

- a valós idejű programok megfelelő szintű megvalósításához szükséges robusztusság csak kellően fegyelmezett programozási stílus alkalmazásával érhető el;
- a dinamikus adatstruktúrák hiánya;
- számos, a strukturált programozásból, megszokott utasítás hiánya;
- a meglévő utasítások időnként szokatlan formája;
- a dinamikus folyamatok egyidejű létrehozása és megszüntetése időnként zavaró;
- hiányzik a kivételek kezelésének mechanizmusa;
- a gépi szintű hozzáférések szegényes mivolta.

IMPLEMENTÁLÁS

Az Edison rendszert először 1980-ban implementálták egy PDP 11/23 típusú minirendszeren, majd rövid időn belül átvitték IBM személyi számítógépre is. [30] Az Edison-11 név alatt futó nyelvet olcsó mikroprocesszorok támogatására tervezték, ezért úgy döntöttek, hogy előre látva ezt a felhasználást figyelmen kívül hagyják a megszakítások kezelését a PDP 11-n, még gépi szinten is. [26]

Az Edisonnak számos implementálásáról tudunk, ám ezek főként kísérleti és/vagy oktatási jelleggel készültek. Maga Brinch Hansen is fontosnak tartotta az Edisonnak a párhuzamos programozás oktatásában való felhasználását. 1983 januárjában, a University of Southern California létrehozott egy 10 IBM személyi számítógépből álló labort, ahol a hallgatók az operációs rendszerek készítését tanulhatták és gyakorolhatták Edisonban. [31]

A '80-as években a varsói egyetemen is folyt egy érdekes kísérlet, melynek az volt a célja, hogy segítse a konkurens programozás elveinek tanítását. Az ott kialakított Edison-N rendszer egy Z80 mikroprocesszoron alapuló, Sinclair ZX Spectrum mikrokomputerekből álló hálózaton valósult meg (48 KB RAM-mal és 16 KB ROM-mal). [32]

Az erlangeni ModulaWare GmbH-nál Guenter Dotzel implementálta 1982-ben, egy PDP-11/RT-11 rendszeren [33].

1981-ben, Magyarországon is megjelent egy komplex tanulmány a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete égisze alatt, Böszörményi László tollából, „Multi-task rendszerek fejlesztése magasszintű nyelven” címmel, a *Tanulmányok* 128.-ik köteteként. [34] Ebben bemutatásra kerülnek, a párhuzamosság, multitasking, konkurencia és kapcsolódó alapfogalmak mellett a, fennebb már általam is említett, legfontosabb ilyen jellegű programozási nyelvek is. Ezek között megtalálható az Edisonnak is egy rövid leírása. [34]

Érdekes módon, a '80-as években, a romániai számítástechnika két jelentős intézményében, a temesvári, illetve a bukaresti műszaki egyetemeken, is jelentős erőfeszítéseket tettek az Edison implementálásának érdekében. A temesvári munkacsoportnak jelen tanulmány szerzője is tagja volt egy ideig. Az érdeklődés valószínűleg azzal magyarázható, hogy a függetlenedni akaró román számítógépipar már országszerte terítette a PDP-11 mintájára készült Coral mini-, illetve Intel 8080-alapú M18 mikrorendszereket. Ez egyértelműen hozta magával, szoftver téren is, a modernizálás követelményét, illetve a világ élvonalbeli kutatási eredményeinek az ismeretét és alkalmazását.

Bár az Edison jónéhány pozitív vonással rendelkezett úgy, mint egyszerűség, kis méret, adaptálhatóság, portabilitás, mégsem vált soha olyan népszerűvé, mint a létrejöttét meghatározóan befolyásoló Concurrent Pascal vagy Modula. Ennek okai, véleményem szerint, egyrészt a fennebb bemutatott hátrányainak, másrészt a párhuzamos programozás terén bekövetkezett gyors fejlődésnek és az újabb, vitathatatlanul magasabbrendűbb és komplexebb nyelvek megjelenésének tudható be.

Bibliográfia

- [1] M. Kanellos: „Moore says nanoelectronics face tough challenges,” *CNET*, 10 03 2005. [Online]. Available: <https://www.cnet.com/news/moore-says-nanoelectronics-face-tough-challenges/> [Hozzáférés dátuma: 09. 06. 2021.].
- [2] B. Nichols, „*Programmer Moneyball: Challenging the Myth of Individual Programmer Productivity*,” Carnegie Mellon University Software Engineering Institute, 27. 01. 2020. [Online]. Available: <https://insights.sei.cmu.edu/blog/programmer-moneyball-challenging-the-myth-of-individual-programmer-productivity/>. [Hozzáférés dátuma: 10. 06. 2021.].
- [3] E. W. Dijkstra (1968): „A strukturált programozásról.” In: *Strukturált programozás*, Budapest: Műszaki.
- [4] E. W. Dijkstra: „Letters to the editor: Go to statement considered harmful.” *Communications of the ACM*. 11. (3.) Pp. 147–148.
- [5] O.-J. Dahl–E. W. Dijkstra–C. A. R. Hoare (1972): *Structured Programming*. London and New York: Academic Press.
- [6] O.-J. Dahl–E. W. Dijkstra–C. A. R. (1978): *Hoare, Strukturált programozás*. Budapest: Műszaki.
- [7] N. Wirth (1976): *Algorithms + Data Structures = Programs*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- [8] N. Wirth (1982): *Algoritmusok + Adatstruktúrák = Programok*. Budapest: Műszaki.
- [9] N. Wirth (1971): „The Programming Language Pascal,” *Acta Informatica*, 1. Pp. 35–63.
- [10] N. Wirth (1977): „Toward a Discipline of Real-Time Programming,” *Communications of the ACM*, 8.
- [11] P. Brinch Hansen (1977): *The architecture of concurrent programming*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- [12] C. A. R. Hoare (1974): „Monitors: An Operating System Structuring Concept,” *Communications of the ACM*, (10.) Pp. 549–557.
- [13] P. Brinch Hansen (1973): *Operating System Principles*. NJ: Prentice-Hall Inc.
- [14] O.-J. Dahl–B. Myrhaug–K. Nygaard (1970): „*Common Base Language*,” Oslo.
- [15] J. G. Mitchell–W. Maybury–R. Sweet (1979): „*Mesa Language Manual – Version 5.0*,” Palo Alto, CA.
- [16] N. Wirth (2007): „Modula-2 and Oberon PowerPoint presentation,” In: HOPL III: Proceedings of the third ACM SIGPLAN conference on History of programming languages.
- [17] N. Wirth (1977): „Modula: a Language for Modular Multiprogramming,” *Software – Practice and Experience*, 7. Pp. 3–35.
- [18] N. Wirth (1988): *Programming in Modula-2*, 4th (Szerk.): Springer-Verlag.
- [19] US DoD (1980): „Ada Reference Manual,” In: *Ada, an introduction*, Springer Science+Business Media, LLC.
- [20] H. Lienhard (1978): „The Real Time Programming Language PORTAL, Introduction and Survey,” *Landis-Gyr Review*, 25. Pp. 2–8.
- [21] J. G. P. Barnes (1980): „The Standardization of RTL/2,” *Software-Practice and Experience*, 10. Pp. 707–719.
- [22] A. Seres–L. Fenyő–K. Gyalogh (1986): *A FORTH programozási nyelv*. Budapest: Műszaki.
- [23] „*The Evolution of Forth*,” [Online]. Available: <http://www.forth.com/resources/evolution/index.html>. [Hozzáférés dátuma: 15. 06. 2021.].
- [24] G. Lipovszki–L. Subai–T. Beszeda (1985): *FORTH programozási rendszer és nyelv*, Budapest: LSI Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat.
- [25] P. Brinch Hansen (1981): „Guest Editorial: Introducing the Edison Papers,” *Software – Practice and Experience*, P. 323.
- [26] P. Brinch Hansen (1981): „The Design of Edison,” *Software – Practice and Experience*, 4. Pp. 363–396.
- [27] P. Brinch Hansen (1981): „Edison – a Multiprocessor Language,” *Software – Practice and Experience*, 4. Pp. 325–362.
- [28] C. A. R. Hoare (1971): „Towards a Theory of Parallel Programming,” In: C. A. R. Hoare–R. H. Perrott (Szerk.): *Operating Systems Techniques*. Pp. 132–244.

- [29] P. Brinch Hansen (1973): „Concurrent Programming Concept,” *Computing Surveys*, 5. (4.) Pp. 223–245.
- [30] P. Brinch Hansen (1982): *Programming a personal computer*. NJ: Prentice-Hall.
- [31] P. Brinch Hansen (1983): „Using personal computers in operating system courses.” *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 17. (3.) Pp. 41–44.
- [32] C. Dubnicki–J. Madey–W. Wygladala (1988): „Edison-N - an Edison implementation for a network of microcomputers.” *Software – Practice–Experience*, 18. (4.).
- [33] G. Dotzel (1991): „The EDISON Multiprocessor Language.” *The ModulaTor*, 1. (5).
- [34] L. Böszörményi (1981): „Multi-task rendszerek fejlesztése magasszintű nyelven.” *Tanulmányok*, 128.

Macro cognition for Predaredness in aviation: An opinion paper

Abstract: The current opinion paper discusses key technological developments both in aviation and lays out the potential for foresight under a systemic macrocognitive view. The proposed approach is aimed to address the changing aviation context, the organisational cognition and knowledge structures for safe preparedness in information-driven environments. Following the key tenets of the systemic paradigm and of naturalistic decision making, we posit the added value of macrocognitive studies able to understand the shifts in tacit and explicit knowledge. Deep understanding of transitions can aid capturing the prerequisites for the safe preparedness of aviation organisations and their members. A systemic mapping is presented with the inclusion of different levels of analysis in contrast to cognition being studied in a confined problem space. Macrocognitive studies proposed should complement microcognitive analyses.

Keywords: Macrocognition; systemic approach; aviation safety; foresight.

Introduction

Innovation is a driver for transitions and change management. Past transitions have aided aviation reach an advanced knowledge over safety risks, creating foresight. During the last decade organisations adjust or transit in a much greater digitalised way of doing things, signifying a major transition. Industry 4.0., commonly referred to as the 4th industrial revolution reflects the shift to even more advanced technologies and ‘smart’ industries (e.g., digital manufacturing). This shift comes with drivers and barriers at the management level (e.g., strategy and resource management), and at the work-force level (e.g., lack of qualification, knowledge, understanding of interfaces,

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

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

*** *University of Dunajváros, 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

employee readiness) (Stentoft et al., 2020). Neumann et al., (2021) find that the focus so far has been brief mentions of on organisational factors. This context requires a better understanding of such transitions. For example, now, as in other contexts (Ferrari et al., 2020), human – data interactions (HDI) and over-reliance on machine-related information (McDonnell et al., 2018; Victorelli et al., 2020) become of seminal importance to the aviation domain. Furthermore, Ton et al., (2020) report that in prognostics there is little expert knowledge on application-specific aspects such as failure behaviour of components. Studies hence emphasise on the need to understand “the black boxes” in transformation (Sgarbossa et al., 2020) and the situational awareness of decision makers (Giacotto et al., 2021).

Over the decades, and following this focus, advances in technical systems have become so separated from the human that there are documented concerns regarding human related data, and that these are overlooked in industrial advancements (McDonnell et al., 2018). Foresight is hence under question, since the negative transfer of (past) knowledge may endanger future safety, as the organisations drift away from learning. Softer approaches of learning, problematizing, including organisations and practitioners (Ison 2008) are confined to strategic levels, and human factors are ignored (Ton et al., 2020). Research (Golightly et al., 2018) reports problems affecting the deployment of new technologies in predictive maintenance due to issues of knowledge gaps and human-machine interface, amongst other higher level organisational factors of strategy and culture. Furthermore, the cultural shift A-CDM undergoes, data management, responsibility allocation and the complexity of the required collaboration (Netto et al., 2020) and communication (Zuniga–Boosten, 2020) need addressing. As a wide range of teams and systems collaborate in this process (e.g., ground handling, air traffic control, aircraft operators) emphasis is placed on the importance of information flow, management, and processing.

Gaps are, therefore, observed in the understanding of higher levels of cognition, within an advanced technological environment, involving hybrid teams, complex and multidisciplinary teams and overloaded users. The organisational ‘collective memory’ comprises of experiences and tacit rules, aiding the operator to recall the learning from safety issues, protecting it in the future (ESReDA 2020). Due to the emerging interactions amongst users, teams and ultimately of systems, the current paper places the emphasis on the need for systemic considerations, enabled by macrocognition. To this end, this paper proposes a systemic-driven macrocognition framework placing the focus on a greater understanding of macrocognition in an interacting environment.

Macro cognition for preparedness

Aviation is characterised as a system of systems. Human performance and safety in high-risk industries are emergent behaviours of a domain - a systemic web of interactions between complex systems and their users. Foresight requires deep understanding of contemporary decisions, emergent interactions and complexity that can affect the future (ESReDA, 2020). Systems thinking in aviation, however, is characterised by theoretical pluralism. In particular, different theories assume different “boundaries of analysis” of the aviation system (Richardson–Midgley, 2007). Systemic analysis in aviation follows a legacy of systems engineering thinking, lacking in broader analysis; and the term ‘systemic’ being commonly confused with systematic or within system approaches that centre on a system of interest. Systems thinking, as such, has been developed according to scientific silos and leads to the underexploring of systemic softer fields in safety and in the impeccable increase of systematic approaches in other ones such as the technological areas.

The literature assumes a static structure of the aviation domain and a confined problem space. The focus remains on latest developments such as those of predictive maintenance, single pilot operations and of collaborative platforms, yet addressing only microcognitive concerns. For this reason, we posit that foresight requires a greater understanding of systems collectively and these to be studied in their natural operational setting. This approach is known as naturalistic decision making (NDM) and addresses macrocognition. Macrocognition is linked to knowledge creation in aviation, as knowledge is the product of schemas, cognitive structures, that precede the transformation of data and information processing (Cacciabue–Hollnagel, 1995, Fiore et al., 2010). The cognitive functions within the macrocognition movement that originated in the 1980s include decision making in natural settings, where pressure and dilemmas prevail, and include situation assessment, planning, adaptation, problem detection and coordination (Klein et al., 2003). This paradigm addresses the background of symptoms such as inattention and lack of situational awareness. We posit that this paradigm is of importance in advanced technologies that pose the emphasis on a different, evolving, set of knowledge, attitudes and skills for systems’ users and operators, since it includes developing teams, a highly technological context and thus a broader inclusion of cognitive functions (Klein et al., 2003). Such thicker descriptions can be useful in complex-adaptive systems such as aviation.

We therefore draw on Simon’s (1991) conceptualisation of human cognition relating to their information environments and that the human cannot simply choose between fixed alternatives as part of their decision-making process. Within unexplored interactions, schemas – the collective memory – are being developed and information is being processed and interpreted to fit the pattern (Axelrod, 1973). Prior knowledge is hence key here as it activates information processing (Widmayer, 2004). Specifically, these

schemas are formulated both by technical – explicit and tacit knowledge (Mortier–Anderson, 2017). The role of macrocognition, therefore, encompasses the broader collective memory and information processing of the aviation systems required for foresight.

Systems are hence characterised as information processing machines, also researched as decision-making systems and communication systems (Egelhoff 1991), with emergent macrocognitive structures. The system's evolving knowledge leads to its schemas and cognitive structures, a collective memory and ultimately performance (Obrenovic et al., 2015). The advanced systems in aviation, within and between organisations and their operators/users, have a common ground of relying on a heavy load of information and data, timely responses and reactions that require and promote a nexus of cognitive functions.

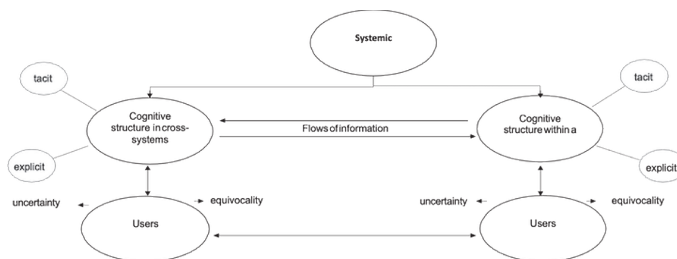
These systems also require communication amongst them as they are synergetic in terms of operations and collective in terms of a common goal (safe performance) and these co-comprise the broader aviation system. Their users also share common required characteristics and face problems that underpin the technological advancements. For example, as it has been mentioned, cockpit operators – whether these will be on the air and/or on the ground- are going through a change in terms of their knowledge (e.g., from tacit to explicit- reskilling). In addition, A-CDM airports involve multiple users that collaborate, yet are largely unexplored. Finally, predictive maintenance shifts the levels of knowledge and practice to real time monitoring and prediction methodologies requiring a different set of skills and knowledge, and thus creating a new cognitive structure. All these systems will also transform organisationally. Knowledge however comes from the organisations and as they become data-driven, explicit knowledge will have an effect on information processing. Such examples illustrate the complexity and adaptation required to aid foresight. With the current focus on the interactions between the human (operators, users) and the automation/new technology, the analysis is being stripped of context. Attempts to merely control the system will create new interactions and implications, which initially require understanding.

Mapping of systemic macrocognition

Aiming to address the underexplored areas comprising of high change scenarios we propose a broader analysis presented in the concept mapping (*Figure 1*). Because complex systems involve nonlinearity and a dynamic space, the conceptual model is intended as an initial guide for systemic considerations of macrocognition. Following the systemic approach, Figure 1 maps systems at an interconnected level of analysis, considering users within a broader nexus of cognitive structures and functions. To showcase the interconnectedness the mapping's arrows are iterative, as the evolving cognitive structures feedback and feedforward due to their interacting nature as explained. The double-sided arrows indicate these interactions amongst cognitive structures, the transfers of information, as well as the dynamic relationship

between top-down and bottom-up approaches. Specifically, higher levels of cognitive structure indicate the evolvement of the organisational long-term cognitive structure, comprising of both the evolving explicit and tacit knowledge. The flows of information, and the results of interactions between and within organisational teams, affect the cognitive structures. The flow between systems, and within a system as an organisation of processes, resources and assets, are important for inter-domain teams, systemic relationships and flows of information.

Figure 1. Concept mapping of the systemic macrocognition architecture (developed by authors)



At a theoretical level, there are implications for lack of multidisciplinary and interdisciplinary research and the communication and engagement of a variety of fields. In order to understand the emergent behaviour of the aviation domain following change, in particular what the implications might be for safety, the analysis needs to include knowledge of what drives this change – i.e., it is the result of which interaction – and how this change is affecting current or creating new interactions. Safety and human factors are, however, currently approached as a control problem, following the reductionist path of system decomposition. By doing so, a static equilibrium is created, a static problem space of the observer (Asbhay 1961). This tradition of the aviation cognitive studying now has implications for knowledge gaps and knowledge transfer, and hence preparedness and foresight.

Aviation holds a mix of explicit and tacit knowledge. Manuals, training files, performance documentation and data management involve explicit knowledge, and skills, experience, etc. tacit knowledge. Hence parts of aviation's knowledge are external, and the rest is internalised to the users of its systems. The technological advancements in aviation have implications for both knowledge aspects. On the one hand, it is unclear how new technologies' users will be able to capture the required knowledge, and on the other it is unclear what kind of tacit knowledge is being built and is required so that the new technologies are supported. Despite notions that technology focuses on creating explicit knowledge – and hence relying less on tacit aspects that are less controllable –, the collective information processing within and between systems

can affect the individual's information processing and will ultimately create a different set of explicit and tacit knowledge. It is unclear how foresight will be created to support future developments. There is an ample gap of such research in aviation, where high automation, big data technologies and higher levels of information processing are prevailing and further developing. For this reason, the current paper proposes that microcognitive studies are supported by the inclusion of a systemic, emerging macrocognitive perspective. Since highly advanced technological systems create greater information load amongst users of different systems that collaborate, the naturalistic decision-making focus of macrocognitive is proposed. For this reason, the systems that include those users are conceptualised as cognitive structures driving information processing and affecting the capacity of the users.

The mapping hence shows that the systemic view can be applied to understand within and across systems interactions, as for example would be required in a A-CDM approach where multiple stakeholders collaborate. The analysis can, in addition, focus on the organisational level – alone or in combination with other analyses-. For the intraorganizational analysis, certain methods can be of use and multiple analyses are advised in complex cases. For example, in maintenance, there can be various modes of safety management (early adaptation to lack of safety management systems), different resources and lack of readiness (e.g., SMEs, Stentoft et al., 2020), and new implementations (e.g., predictive maintenance). Bottom up and top-down analyses on the integration of old and new maintenance technologies is required. At the management level, aspects of measures, and indicators, as well as intra-organisational processes, policies, and tacit and explicit knowledge can be explored. At the bottom level, skills, knowledge (tacit and explicit), experience, behavioural characteristics) can be targeted. Structural and technological (e.g., data, sensors) aspects can be examined incorporating aspects of work groups and job (re)design.

Despite the advanced technologies, little knowledge is being captured and shared amongst aviation systems. Since advanced information systems and data banks prevail – and will growingly do so-, explicit and tacit knowledge should be explored in relation to cognitive functions. However, boundaries can differ depending on the interaction with other systems (e.g., a weak or strong interaction with systems). In other words, boundaries of system may not only be expanding but also to be shrinking (e.g., human factors). Under this observation, the role of feedback loops should be explored and whether in systemic analysis these can be useful or if these are reverting the analysis back to pairings. Furthermore, it is important that the human capabilities are understood in a) context, i.e., the changing environments and b) in much greater depth, since past changes and their effect are still under analysis and exploration. Before greater, and much more fundamental, changes are introduced, we must better understand the change effects on systems' users and their macrocognition to aid foresight.

Conclusions

This paper discussed why human and organisational factors should be addressed for safety foresight and for the effective deployment of new technologies and structures. The opinion paper argued that a systemic view under macrocognition should be adopted to aid foresight. Macrocognitive studies can explore the knowledge transfers in the changing context. In addition, macrocognitive studies can complement microcognitive studies by producing insights from the dominant information processing models of operators, and revealing areas in need of transformation and intervention. To this end, we proposed a systemic analysis under macrocognition through assessments and interventions that are able to capture shifts and reveal and close gaps in a naturalistic setting. However, some limitations should be noted, such as aspects of organisational and safety culture, and resources may prove as barriers for smaller organisations. Future research should aim to apply novel tools through an open systemic view in settings with different challenges. The macrocognitive profile of users should also be researched and how it can complement microcognitive approaches through mixed methodologies.

References

- Ashby, W. R. (1961): *An introduction to cybernetics*. Chapman–Hall Ltd.
- Axelrod, R. (1973): Schema theory: An information processing model of perception and cognition. *The American Political Science Review*, 67. (4.) Pp. 1248–1266.
- Cacciabue, P. C.–E. Hollnagel, (1995): *Expertise and Technology*. Taylor and Francis.
- Egelhoff, W. G. (1991): Information-processing theory and the multinational enterprise. *Journal of international business studies*, 22. (3.) Pp. 341–368.
- ESReDA (2020): Enhancing safety: the challenge of foresight, European Safety. *Reliability–Data Association*, EUR 30441.
- Ferrari, B.–Junior, D. P. D. S.–R. Pereira, (2020): Systemic view of human-data interaction: analyzing a COVID-19 data visualization platform, Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Human Factors. In: *Computing Systems*, 26–30. October, 2020. Diamantina, Brazil.
- Fiore, S. M.–Smith-Jentsch, K. A.–Salas, E.–Warner, N.–M. Letsky, (2010): Towards an understanding of macrocognition in teams: developing and defining complex collaborative processes and products. Theoretical Issues. In: *Ergonomics Science*, 11. (4.) Pp. 250–271.
- Giacotto, A.–Costa Marques, H.–Pereira Barreto, E. A.–A. Martinetti, (2021): The Need for Ecosystem 4.0 to Support Maintenance 4.0: An Aviation Assembly Line Case. *Applied Sciences*, 11. (8.) P. 3333.
- Golightly, D.–Kefalidou, G.–S. Sharples, (2018): A cross-sector analysis of human and organisational factors in the deployment of data-driven predictive maintenance. *Information Systems and e-Business Management*, 16. (3.) Pp. 627–648.
- Ison (2008): Systems thinking and practice for action research. In: *The Sage Handbook of Action Research Participative Inquiry and Practice* edited by P.W. Reason, and H. Bradbury. London: Sage Publications.

- Klein, G.–Ross, K. G.–Moon, B. M.–Klein, D. E.–Hoffman, R. R.–E. Hollnagel (2003): Macrocognition. *IEEE intelligent systems*, 18. (3.) Pp. 81–85.
- McDonnell, D.–Balfe, N.–Pratto, L.–G. E. O'Donnell, (2018): Predicting the unpredictable: Consideration of human and organisational factors in maintenance prognostics. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54. Pp. 131–145.
- Mortier, T.–D. Anderson, (2017): Understanding tacit knowledge in decision making. In: *Handbook of research on tacit knowledge management for organizational success*. Edited by D. Jaziri-Bouagina–G.L. Jamil. IGI Global.
- Netto, O.–Silva, J.–M. Baltazar, (2020): The airport A-CDM operational implementation description and challenges. *Journal of Airline and Airport Management*, 10. (1.) Pp. 14–30.
- Neumann, W. P.–Winkelhaus, S.–Grosse, E. H.–C. H. Glock, (2021): Industry 4.0 and the human factor–A systems framework and analysis methodology for successful development. International. *Journal of Production Economics*, 233.
- Obrenovic, B.–Obrenovic, S.–A. Hudaykulov, (2015): The value of knowledge sharing: impact of tacit and explicit knowledge sharing on team performance of scientists. *International Journal of Management Science and Business Administration*, 1. (2.) Pp. 33–52.
- Richardson, K. A.–G. Midgley, (2007): Systems theory and complexity: Part 4-The evolution of systems thinking. *EMERGENCE-MAHWAH-LAWRENCE ERLBAUM*, 9. (1–2.) P. 166.
- Sgarbossa, F.–Grosse, E. H.–Neumann, W. P., Battini, D.–C. H. Glock, (2020): Human factors in production and logistics systems of the future. *Annual Reviews in Control*, 49. Pp. 295–305.
- Simon, H. A. (1991): Bounded rationality and organizational learning. *Organization science*, 2. (1.) Pp. 125–134.
- Stentoft, J.–Adsbøll Wickstrøm, K.–Philipsen, K.–A. Haug, (2020): Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning–Control*, Pp. 1–18.
- Ton, B.–Basten, R.–Bolte, J.–Braaksma, J.–Di Bucchianico, A.–van de Calseyde, P.–M. Stoelinga, (2020): PrimaVera: Synergising Predictive Maintenance. *Applied Sciences*, 10. (23.) P. 8348.
- Widmayer, S. A. (2004): *Schema theory: An introduction*. <http://chd.gse.gmu.edu/immersion/knowledgebase/strategies/cognitivism/SchemaTheory.htm>., accessed on April 10, 2020.
- Zuniga, C.–G. Boosten, (2020): A Practical Approach to Monitor Capacity under the CDM Approach. *Aerospace*, 7. (7.) P. 101.

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)" (Mohrmann–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 accidents¹ (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.
- 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-Golebiewska, 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.–Załoski, M.–Jagielski, P.–Wójcik-Malek, 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.

A Forth programozási nyelv alkalmazási lehetőségeiről a számítástechnika hatékony oktatásában

Összefoglalás: A Forth az első integrált fejlesztési rendszer (Integrated Development Environment – IDE), mely 15 évvel előzte meg a Turbo Pascalt. Ma is fontos szerepet játszik a fejlesztésben, mivel igen jól használható a mikrorendszerek megvalósításában. A Forth fő előnyei között meg kell említenünk a számítógéptől való függetlenséget (portabilitás), a kis erőforrásigényt, a gyors működést és a bővíthetőséget. Ha mindehhez még hozzávesszük az interaktív kapcsolat biztosítására való alkalmasságát, könnyen megérthetjük, miért felel meg oly kiválóan a gyorsabb és hatékonyabb szoftverfejlesztés céljainak. Ugyanezen okokból kifolyólag, a Forth alkalmas lehet a programozás, illetve az informatika és számítástechnika oktatásában is. Tény, hogy minden integrált technológia, mint az Internet, adatbázisok, 3D stb. jelentős erőfeszítést követelnek meg mind a Forth implementáció fejlesztőitől, mind pedig, utólag, annak felhasználóitól. Kombinálni a Forth-ot meglévő Rapid Application Development (RAD) rendszerekkel lehetőséget nyújt rá, hogy a szükséges függvényeket és a Forth-rendszer kiterjesztését minimális erőfeszítéssel illeszthessük. Jelen tanulmányunkban egy olyan új megoldást szándékozunk bemutatni, mely lehetőséget ad egy Forth-rendszer használatára az oktatásban, meglévő Pascal, illetve C++ fejlesztő rendszerrel kombinálva. Ennek során példákon keresztül mutatjuk be, hogy milyen egyszerű és kézenfekvő az általunk javasolt eljárás alkalmazása. A példák klasszikus oktatási témákra koncentrálnak, mint például a teknőc-grafika vagy a rekurzivitás. Jelen tanulmány előzményét két konferenciaszereplés [1], [2] képezi, amelyek után sajnos, egyéb elfoglaltságok miatt, a projekt háttérbe szorult. Ám, szándékunk szerint, a közeljövőben ezt sikerül tovább vinnünk.

Kulcsszavak: Forth; integrált fejlesztési rendszerek; programozás; számítástechnika-oktatás.

* Partiumi Keresztény
Egyetem, Nagyvárad
E-mail: mjbartha@gmail.com

** Partiumi Keresztény
Egyetem, Nagyvárad
E-mail: zzakota@gmail.com

Abstract: Forth is the first Integrated Development Environment (IDE) to precede Turbo Pascal 15 years ago. Nevertheless, it still plays an important role in development today, as it can be used very well in the implementation of microsystems. The main advantages of Forth include computer independence (portability), low resource requirements, fast operation and scalability. Add to this the ability to provide an interactive connection, and we can easily understand why it meets the goals of faster and more efficient software development so well. For the same reasons, Forth may also be suitable for teaching programming as well as IT and computer science. In fact, all integrated technologies such as the Internet, databases, 3D, etc. they require a significant effort from both the developers of the Forth implementation and its users. Combining Forth with existing Rapid Application Development (RAD) systems allows you to fit the required functions and Forth system extensions with minimal effort. In the present study, we intend to present a new solution that allows the use of a Forth system in education, combined with an existing Pascal or C++ development system. In doing so, we show through examples how simple and obvious it is to use the procedure we propose. The examples focus on classic educational topics such as turtle graphics and recursion. The present study is preceded by two conference presentations [1], [2], after which, unfortunately, due to other occupations the project was pushed into the background. But we intend to take this further in the near future.

Keywords: Forth; Integrated Development Systems, Programming; ICT Education.

Az IKT által generált társadalmi változások

Az információs és kommunikációs technológiák (IKT) aktuális kérdései a társadalmi, politikai és gazdasági élet igen széles spektrumát érintik, ugyanakkor jelentős jogi és etikai vonzataik is vannak. Ilyen, például, az immár klasszikusnak számító, igen kiterjedt területet alkotó szellemi tulajdon védelme, szabadalmak, szerzői jogok, valamint, ehhez kapcsolódóan a tisztességes használat (Fair Use) kérdésköre. Ezzel rokon területet képez a kalózkodás és ahhoz kötődően a jogtalan P2P fájlmegosztás. Ehhez pedig az ingyenes szoftver, a nyílt forráskód, valamint a nyílt szabványok területe kötődik, ami viszont a trösztellenes szabályozást is befolyásolja. Már ebből is látszik, hogy mindez szervesen összefonódik és egy monstre kiterjedt elméleti és gyakorlati tudásteret alkot. Mindez jelentős befolyással van a közpolitikákra és a szabályozás gyakorlatára is, olyan területeken, mint pl.:

- az információhoz / tudáshoz való hozzáférés,
- a világháló semlegessége,
- nemzetközi egyezmények,
- frekvenciasávok allokációja.

Az IKT-k nem csak a közszférában generálnak átalakulásokat, de mély változásokat indukálnak a magánéletben is, az utóbbi évtizedekben főként a közösségi hálózatok által. Ugyanakkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt sem, hogy az IKT által életre hívott problémák egy nem elhanyagolható része etikai jellegű, így például a kiberbűnözést, cenzúrát, biztonságot, vagy magánszférát érintő kérdések.

A folyamatok, természetesen, kétirányúak és a társadalmi környezet is változásokat indukál az IKT környezetben, a legváltozatosabb területeken, úgy mint:

- a világháló és alkalmazásai,
- a hálózati (főként TCP/IP-alapú) és mobil technológiák rohamos fejlődése és elterjedése,
- grafikus és multimédiás alkalmazások,
- beágyazott rendszerek,
- relacionális adatbázisok és adatbányászat,
- interoperabilitás,
- objektum-orientált programozás,
- szofisztikált alkalmazás-programozói felületek használata (API),
- ember-számítógép kölcsönhatás,
- kriptográfia és biztonság,
- folyamatosan megújuló és bővülő felhasználói területek.

A számítógépek világméretű elterjedésének köszönhetően az IKT befolyása drámaian megnövekedett és egy sor radikális változást gerjesztett a kultúrában. Ebből a számítástechnika akadémiai tantárgyként való teljeskörű elfogadása, majd folyamatos bővülése is következett. Általában pedig a „behálózottság” széleskörű elterjedése jött, úgy mint:

- e-üzlet
- e-kormányzás
- e-oktatás
- e-befogadás
- e-egészségügy
- e-egyre több minden...

IKT és EU politika

Mindez, természetesen, megjelent a köz- és különböző szakpolitikákban is. Már az eEurope 2000, az ún. Lisszaboni Stratégia is az információs társadalom megteremtését célozta meg az Európai Unión belül. Alapvető céljai között olyanok szerepeltek, mint [3]:

- minden egyén és háztartás, valamint iskola, vállalat és intézmény bevezetése a digitális korba, ill. csatlakoztatása a Világháléhoz;
- egy, a vállalkozási kultúrára alapozott, új gondolatok finanszírozására és kifejlesztésére kész, digitálisan alfabetizált Európa létrehozása;
- a teljes folyamat társadalmi befogadásának biztosítása, a fogyasztók bizalmának növelése és a társadalmi kohézió megerősítése.

A stratégia megvalósításának útját több dokumentum is fémjelzi. Ezek közül megemlíthjük itt az i2010 nevű dokumentumból az EB stratégiai keretprogramjának irányelveit [4]

- az Egységes Európai Információs Tér létrehozása:
 - hozzáférhető és biztonságos nagy sávszélességű kommunikáció,
 - gazdag és változatos tartalom és digitális szolgáltatások,
- innováció és beruházásnövelés az IKT-kutatásban:
 - világszínvonalú teljesítmények támogatása,
 - Európa közelítése a világszinten vezető pozíciót betöltő konkurenszekhez,
- a társadalmi, gazdasági és területi kohézió növelése:
 - egy befogadó európai információs társadalom létrehozása,
 - a növekedés és foglalkoztatottság támogatása a fenntartható fejlődéssel összhangban,
 - jobb közszolgáltatások és életminőség biztosítása,
- javaslatok kidolgozása és a keretprogram aktualizálása az elektronikus kommunikáció, az információs társadalom és a médiaszolgáltatások terén,
- közösségi pénzügyi eszközök stratégiai kutatásokba való befektetése,
- az IKT-innováció bátorítása.

Végül meg kell feltétlenül említeni az Európai Parlament és a Tanács 2021/694 rendeletét a Digitális Európa program (DIGITAL) létrehozásáról. [5] A DIGITAL egy új uniós finanszírozási program, amelynek középpontjában a digitális technológia eljuttatása áll a vállalkozások, az állampolgárok és a közigazgatás számára. A Digitális Európa program stratégiai támogatást nyújt az olyan aktuális kihívások megválaszolásához, mint a környezeti problémák kezelése, a járványok elleni védekezés vagy a külső rendszerektől és megoldásoktól való függőség.

Ami az IKT szűkebb területét illeti, öt kulcsfontosságú irányban támogat projekteket:

- szuperszámítógépek,
- mesterséges intelligencia,
- kiberbiztonság,
- fejlett digitális készségek elsajátítása,
- digitális technológiák széles körű használatának biztosítása a gazdaságban és a társadalomban, ideértve a digitális technológiát is.

A tervezett összköltségvetés 7,5 milliárd euró (folyó árakon), amelynek célja a gazdasági fellendülés felgyorsítása és az európai társadalom és gazdaság digitális átalakulásának alakítása, mindenki számára, de különösen a kis- és középvállalkozások számára biztosítva előnyöket.

IKT és oktatás kölcsönhatása

Az IKT olyan változásokat generált az oktatás, képzés és nevelés világában, mind az elmélet, mind pedig a gyakorlat síkján, melyekre néhány évtizeddel ezelőtt senki sem gondolt volna. Ez a megállapítás nem csak a szakirányú képzésre vonatkozik, hanem általában az egész szakmára. A legszembetűnőbbek között olyanokat említhetünk meg, mint:

- a számítástechnika expanziójához vezető műszaki változások közvetlenül hatnak az oktatási/képzési/nevelési kultúrára;
- a számítógép-hálózatok könnyebben megvalósíthatóvá és rugalmasabbá teszik a távoktatást, jelentős növekedést generálva az üzletágban;
- az élethosszig tartó tanulás megjelenése hozzájárult a távolsági oktatási formák használatának elterjedéséhez;
- a számítógép-hálózatoknak köszönhetően sokkal gyorsabbá vált a tantervi erőforrások széleskörű cseréje;
- a technológia kihatással van a pedagógiára a bemutató szoftverek, egyéni munkaállomások stb. megjelenése által;
- a számítástechnikai tantervek valós időben követhetik a technológiai változásokat.

Ebben az esetben valós kölcsönhatásról, vagyis két irányban zajló folyamatok egyidejű meglétéről beszélünk. Egyrészt az IKT hat az oktatásra, olyan eszközökkel, mint pl.:

- az oktatási intézményrendszer átalakulása, új intézményi formák megjelenése;
- új oktatási/képzési formák megjelenése és elterjedése (Life Long Learning, távoktatás, online képzés stb.);

- új oktatási/képzési technikák kialakítása;
- új típusú (multimediális, interaktív stb.) tananyagok kidolgozása;
- az oktatási/képzési infrastruktúra átalakulása (IKT);

másrészt az oktatás terén végbement változások is kihatnak az IKT-szektor alakulására, olyan csatornákon, mint pl.:

- a szakemberek képzése;
- az általános digitális alfabetizációs szint emelkedése;
- visszahatás a kutatási, fejlesztési és innovációs tevékenységekre.

A kérdéskör komplexitása, és ebből fakadóan: vizsgálatának nehézsége, nemcsak az oda-vissza kapcsolatok származásából fakad, hanem a két terület – IKT és oktatás – más szakterületekkel való szoros összefonódásából is. Az összetettséget növelő tényezők között meg kell említenünk olyanokat, mint:

- a tárgyak kiterjedtsége:
 - matematika, logika, természettudományok;
 - műszaki tudományok, technológiák;
 - társadalomtudományok;
 - filozófia, etika;
- inter- és multidiszciplinaritás;
- a tárgyak gyorsütemű változása/fejlődése;
- globalizáció.

Az IKT szerepének ugrásszerű növekedése az oktatásban

A koronavírus-járvány kitörése óta eltelt időszak jól illusztrálja, hogy milyen nagy jelentőséggel bír az IKT az oktatásban és mennyire felértékelődhet ez a szerep egy krízishelyzetben. Az előtt, a világ országaiban az oktatás nagyrészt a hagyományos módon folyt, ám a járvány indukálta változások hatására, a társadalom egyik legnagyobb tehetetlenségű alrendszere, a stabilitás és az értékek hosszú távú megőrzésének egyik legfőbb eszköze, elképzelhetetlen gyorsasággal alkalmazkodott a megváltozott körülményekhez. Iskolák és egyetemek, kihasználva az IKT-ban rejlő lehetőségeket, gyakorlatilag egyik napról a másikra tértek át az online formák használatára. Ez egyrészt – minimális átállási költséggel – lehetővé tette a képzés folytatását, másrészt viszont egy sor új problémát generált és új megvilágításba helyezett számos régit. Számos lappangó hiba került felszínre, rávilágítva a hagyományos oktatási és képzési formák anakronizmusaira, belső ellentmondásaira. Láthatóvá váltak az intézményi infrastruktúra- és működési keret hiányosságai, rendellenességei, a szabályozás elavultsága nyilvánvalóvá vált. Az események az oktatás egészét és annak csatolt területeit is érintik, úgy mint [6]:

- a gazdaságossági szempontok prevalenciája az átalakulásban;
- az infrastruktúra, mint teher az oktatási intézmények számára;
- a technológiához való hozzáférés nehézségei;
- egy új digitális szakadék megjelenésének a lehetősége;
- a mobil technológia rohamos térnyerése;
- platformok és virtuális terek megjelenése és alkalmazása;
- a tanárok és oktatók digitális kompetenciájának kérdése;
- a diákok és hallgatók differenciálásának nehézségei;
- a tanulási eredmények mérésének és értékelésének nehézségei;
- a bizalom és ellenőrzés kérdése a tanár–diák–szülő–menedzment viszonyrendszerben;
- a szülők tanulásban betöltött szerepének újraértékelése.

A koronavírus-krízis csak kiváltója volt azoknak a változásoknak, amelyek jó ideje váratnak magukra. Ezeknek a változásoknak középpontjában az online oktatás áll, mint egy eddig messze nem eléggé kiaknázott, felbecsülhetetlen lehetőség. Jövőjét az határozza meg, miként kísérletezünk vele, a kutatások által kapott eredményeket hogyan teszteljük, rögzítjük és értelmezzük. Ennek a kísérletnek a kimenete nemcsak az oktatás egészére lesz kihatással, de a politikai diskurzust és a gazdaságpolitikát is gazdagítja majd. Ennek az átalakulásnak egyik legfontosabb eleme a folyamatban résztvevő aktorok – diákok, tanárok, az oktatási folyamatok szervezői és vezetői és nem utolsósorban, a szülők – digitális műveltségének a folyamatos növelése és kiterjesztése. És itt nem csak az IKT eszközök felhasználói szintű használatáról van szó, hanem egy mentalitásváltásról, egy új szemléletmód kialakításáról is.

Digitális Alapműveltség

Az IKT és oktatás kölcsönhatásának vizsgálatakor roppant fontos annak eldöntése, hogyan határozzuk meg a digitális alapműveltség (Digital Literacy) fogalmát. Nevezik még digitális alfabetizációnak meg digitális írástudásnak is és ezek a nevek, egymás mellé téve ki is fejezik grosso modo a fogalom lényegét. Ám ne tévesszük szem elől, hogy megjelenése óta a fogalom folyamatosan változik, lépést tartva az IKT-eszközök fejlődésével. Ezért szükség van egy kellően általános, átfogó eszközfüggetlen meghatározásra. Az Amerikai Könyvtárak Szövetsége (American Library Association – ALA) által adott definíció meg is felel elvárásainknak. E szerint, a digitális írástudás „az információs és kommunikációs technológiák felhasználásának képessége az információk megtalálásához, értékeléséhez, létrehozásához és kommunikációjához, beleértve mind a kognitív, mind a technikai képességeket.” [7]

A terület szerteágazó volta miatt, a legfontosabb kérdés, amit fel kell tennünk magunknak, hogy mit is oktassunk, mikor a digitális alapműveltség eléréséről beszélünk. Meglátásunk szerint, alapvetően a következő kérdéseket kell megválaszolnunk:

- mi egy számítógép és mire való?
- mi egy számítógép felépítése és mik működtetésének alapelvei?
- melyek a biztonságos használat feltételei?
- milyen társadalmi implikációi vannak az IKT-nak?
- hogyan állítsunk össze dokumentumokat (szerkesztés, szkennelés, nyomtatás)?
- hogyan használunk alapszinten táblázatokat és adatbázisokat?
- melyek a számítógépes kommunikáció legelterjedtebb eszközei?
- hogyan kezeljük / használjuk különböző típusú állományokat?
- mik a multimediális alapműveltség nélkülözhetetlen elemei?
- hogyan alkalmazzuk a mobiltechnológiát?
- hogyan kezeljük / használjuk az internetes forrásokat?
- hogyan használjuk az IKT-t etikus módon?

Az informatikai és számítástechnikai oktatás jelentősége

Manapság, gyakorlatilag nincs olyan szakirány a közép, illetve felsőoktatásban, amelynek tanrendjében ne szerepelnének, valamilyen formában, az IKT: számítástechnika, számítógéphasználat, informatikai alapgalmak stb. Sajnos, számos esetben ez nem jelent egyebet, mint a Microsoft Office leggyakrabban használt programjainak – a Word szövegszerkesztőnek, illetve az Excel táblázatkezelőnek és ha még belefér a rendelkezésre álló időbe, az Access adatbáziskezelőnek – az alapfokú ismerete. Persze, irodai programcsomagot tanítani egy roppant kényelmes megoldás: tanárnak, hallgatónak alig kell készülnie és a sikeres vizsga garantálva, minimális erőfeszítéssel. Ráadásul a hallgatók nagyobb hányada már eleve úgy került be az egyetemre, hogy alapszinten tudja kezelni a szövegszerkesztőt és táblázatkezelőt. Felmerül tehát a kérdés: miért is tanítsunk IKT-t az egyetemen? Meglátásunk szerint, igenis van létjogosultsága az IKT oktatásának egyetemi szinten is, amennyiben azt egy tágabb keretbe helyezzük, nem korlátozva a tárgyat néhány irodai szoftver felhasználói szintű bemutatására. Indokaink a következők:

- egy, a mindennapok igényeit kielégítő, digitális alapműveltségi szint biztosítása minden hallgató számára;
- az önálló gondolkodás fejlesztése: a technológiai tekintély elvének lerombolásával arra készítetni a hallgatókat, hogy ne fogadjanak el egy eredményt csak azért, mert azt valamilyen gépi eszköz segítségével számították ki, hanem mindig vizsgálják meg, hogy az adott kontextusban helytálló lehet-e;

- a technika varázstalanítása: „a kellően fejlett technika megkülönböztethetetlen a mágiától” állítja Clarke Harmadik Törvénye [8] és célunk elérni, hogy hallgatóink felesleges csodálattól mentesen, racionálisan viszonyuljanak a technikához;
- ugyanakkor, szükségesnek látjuk növelni a technológiába vetett bizalmat is: a racionalitás terének kibővítésével szeretnénk elérni, hogy hallgatóink nagyobb bizalommal használják a digitális eszközöket és értsék, mikor és miért fogadhatják el az általuk produkált eredményeket;
- áttérni a kvantitatív gondolkodásmódról a kvalitatívra: nem csak számolásra és/vagy számítások elvégzésére használni a számítástechnikát, hanem értelmezni a számítások eredményeit, sőt az értelmezésben is használni azt;
- elsajátítani az algoritmikus gondolkodásmódot, vagyis egy racionális, a feladatok elemzésén és a megoldás lépésenkénti megtervezésén alapuló problémamegoldó technika elsajátítását;
- végül a legkézenfekvőbb, triviális válasz: azért, mert benne van a tantervben és előbb-utóbb sikeres vizsgát kell belőle letenni.

A Forth programozási nyelv

A Forth programozási nyelvet Charles Henry Moore, az egyesült államokbeli Kitt Peak obszervatórium csillagásza alakította ki az 1960-as évek elején. Célja egy olyan könnyed, rugalmas és gyors nyelv megalkotása volt, amely ugyanakkor egy korlátlanul bővíthető utasításkészlettel is rendelkezik [9].

Gyakorlott programozóként, Moore tisztában volt kora számítástechnikájának egyik alapvető problémájával, a hardver és a szoftver fejlődése közötti diszkrépanciával. Ahogy ő maga fogalmazza azt meg: „[a] minikomputerek közelmúltbeli fejlesztése javította képességeiket és csökkentette költségeiket addig a pontig, ahol nagyobb számítógépeket és egyedi hardvereket is kiszorítanak. Egy kicsi számítógép azonban nem tud hatékonyan használni egy hagyományos magas szintű nyelvet, és általában assembler nyelven van programozva. Ez az alacsony szintű megközelítés hozzáértő programozókat és jelentős erőfeszítéseket igényel. Szinte egyetemes boldogtalanság tapasztalható a programozás költségeit, késedelmét és minőségét illetően. Ez a helyzet a standard technikák hatékony megvalósításának határozott próbálkozásai ellenére is fennáll.” [10]

A nagyméretű számítógépekre gyártott szoftverek nyelvek hierarchiájára épülnek: az assembler meghatározza a fordító és az operációs rendszer nyelvét, emez pedig a munkakörnyezet nyelvét; a fordító az alkalmazói programok nyelvét, az utóbbi pedig meghatározza a bemenet nyelvét. A felhasználó valószínűleg nem is ismeri ezeket a nyelveket, sőt szinte biztos, de ettől függetlenül azok még léteznek, közte és a számítógépe között állva és korlátokat állítva elé. A nyelvek e hatalmas hierarchiája hatalmas beruházásokat igényel emberi és gépi munkában, ami persze jelentős költséggel is jár, mind a termelésben, mind a

fenntartásban. És a sok erőfeszítés és költség után még mindig semmi garancia sincs rá, hogy a programok hibamentesek, felhasználóbarátak és képesek kielégíteni minden velük szemben megfogalmazott elvárást. A Forth célja, megalkotójának szavaival élve, véget vetni ennek a „többszintes rémálomnak”. [11]

A kora 1970-es években következett a nyelv bemutatása, illetve Moore találkozása Elizabeth Ratherrel a US National Radio Astronomy Observatory-tól, akivel közösen megalakították a FORTH Inc. vállalatot [12]. Ezután számos fejlesztés, verzió, illetve szabvány következett:

- 1976-tól: microFORTH fejlesztések Intel 8080, Motorola 6800 és Zilog Z80 mikroprocesszorokra;
- 1978: Forth az első rezidens szoftver az Intel 8086 chipre;
- 1979: FORTH-79 szabvány;
- 1983: FORTH-83 szabvány;
- 1984: MacFORTH az első rezidens fejlesztés Apple Macintoshra;
- 1994: ANS Forth (ANSI) szabvány.

Azt, hogy mi a Forth és hogy mire való talán Leo Brodie, a nyelv egyik legjobb ismerője és alkalmazója, valamint több nagysikerű Forth-tankönyv írója fogalmazta meg a legtömörebben [13]: „A Forth sok minden:

- magas szintű nyelv;
- assembler;
- operációs rendszer;
- fejlesztési eszköztár;
- egy szoftvertervezési filozófia.”

A Forthnak sok olyan jellemzője van, amely, ha nem is emeli a legnépszerűbb programozási nyelvek közé, de felhasználói táborán belül igen magas megelégedettségnek forrása. Ezek a jellemzők, röviden felsorolva, a következők:

- láncolt kódú interpreterre alapozó interaktivitás;
- kompilálható;
- imperatív és procedurális, szótárszerűen kiterjeszthető;
- vermekre alapozott, fordított lengyel jelölést használó;
- strukturált;
- reflexív;
- konkatenatív;
- multitaskingot lehetővé tevő;
- explicit nyelvtan és típusellenőrzés nélküli.

A Forthnak számos előnye van, amelyek miatt a gyakorlott programozók körében megérdemelten népszerűségnek örvend [14]:

- teljes programozási környezet biztosítása;
- jól használható a mikrorendszerek megvalósításában,
- számítógéptől való függetlenség (portabilitás),
- kis erőforrásigény,
- gyors működés,
- gyors szoftverfejlesztés,
- interaktív kapcsolat biztosítása fejlesztővel és felhasználóval,
- bővíthetőség.

Forth-alkalmazások a nagyvilágban

A nyelv alkalmazási területei igen változatosak és kiterjedtek. Ezek között megemlíthetjük, természetesen a teljesség igénye nélkül, a következőket [14]:

- szövegfeldolgozás;
- adatbáziskezelés;
- robotvezérlés;
- beágyazott rendszerek programozása;
- folyamatirányítás;
- számítógépes grafika;
- oktatás.

A továbbiakban, illusztrálendő a Forth-alkalmazások diverzitását és dimenzióit, megemlítünk néhány rendszert, amelyeket a világ különböző részein implementált sikeresen a Forth Inc. [15]:

- AVCO / Textron Systems: épületautomatizálás és kiegészítő szolgáltatások a King Khaled Nemzetközi Repülőtéren, Szaúd-Arábiában; a rendszer kilenc PDP 11/44-es, 378 8086 alapú számítógépet és 320 8085-alapú biztonsági processzort tartalmaz, amelyek együttesen több mint 36000 pontot figyelnek és irányítanak.
- Eastman Kodak Company: film sűrűség minőségellenőrzési rendszer, amely tartalmazza a film mozgásának vezérlését, a filmsűrűség-lépések automatikus felismerését és az egyedi IEEE-488 busz interfészt.
- Federal Express: kézi SuperTracker, amelyet minden FedEx szállító ügynök használ, vonalkódolvasót, billentyűzetet és 2×20 soros kijelzőt tartalmaz. Kiterjedt csomagbevezetési és nyomkövetési funkciókat végez, beleértve az amerikai repülőtéri kódok és több, mint 10000 irányítószám keresztindexelését. Az

akkumulátor élettartamának meghosszabbítása érdekében intelligens kikapcsolási szekvenciával rendelkezik.

– NASA Goddard Űrrepülési Központ:

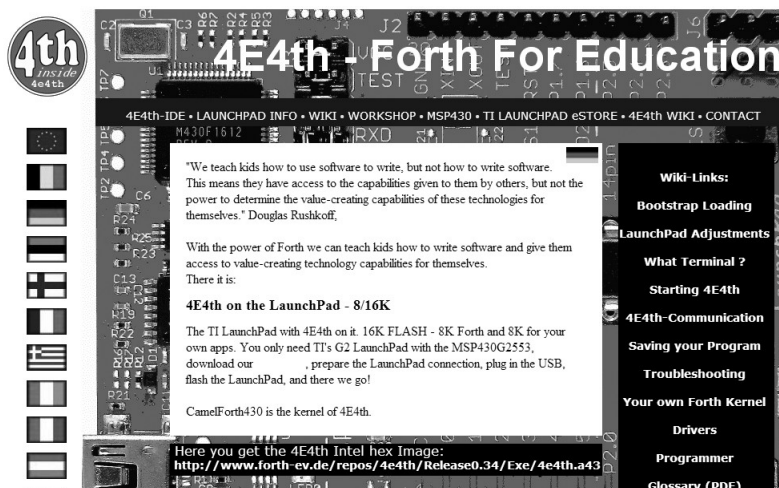
- 50 láb hosszú, hatsuklós kar irányítása az űrsikló szimulátorhoz. A kiterjedt matematikai rutinok két háromtengelyes joystick-parancsot alakítanak át a szükséges csuklósebességekre hat különböző koordináta-rendszerben.
- Multitasking operációs rendszer, Forth fordító és könyvtárak az UT69R000 sugárzással edzett mikro processzorhoz, amelyet az Űrsikló műszereiben használnak.
 - Forth-alapú kis teherbírású szállási interfész modul (SPAIM) kifejlesztése, amely összekapcsolja a Shuttle Solar Backscatter Ultraviolet (SSBUV) műszert az Űrsikló repülési rendszereivel. Az SSBUV-t az ózonmérő műszerek kalibrálására használják a NOAA műholdak fedélzetén.

- Owens-Corning Fiberglas: évek óta a Forth-ot használja alapfirmware-ként az elosztott ipari vezérlőkben, amelyek számos különféle funkciót látnak el az üvegszálak termékek gyártásában.
- Saturn Corp: elosztott HVAC-rendszer a teljes autószerelő üzem számára, amely több mint kétszáz 40 lóerős fűtési-hűtési-párásító egységet vezérel, Z-80-asokkal, egy kétszintű hálózaton keresztül, személyi számítógépeket használva szöveges és grafikus rendszerfigyelőként.
- Minnesotai Egyetem: PC-alapú rendszer távcsövezérléshez és adatgyűjtéshez (IEEE-488 buszon keresztül), adatelemzéshez és grafikus megjelenítéshez.
- VertexRSI (Tripoint Global): szoftver egyedi műholdas nyomkövetőkhöz. Frekvenciaszintetizátor vezérlést, távoli RS-232 parancsportot, vákuum fluoreszcens grafikus kijelzőt tartalmaz.
- Construction Computer Software: MARS és a CANDY alkalmazások, amelyek világszabványok. A CCS szoftver példa nagyméretű ProForth for Windows-ban írt alkalmazásra és a VFX Forth verzió már több mint 850000 kódsorból áll. CCS szoftvert használták az új Hongkongi Chai Tak repülőtér tervezésénél is.
- Microsoft: Barefoot Auditor, melynek segítségével információkat gyűjt saját PC-iről és amelyet az MPE Forth rendszereinek egyikével írták.
- Micross Automation Systems: az MPE ProForth for Windows szoftvert használja a kereskedelmi mosodai vezérlő rendszereiben, az MPE Forth 6 fordítóit pedig a valós idejű vezérlést végző PLC-i számára.
- Europay International Open Terminal Architecture (OTA): az OTA egy Forth virtuális gép (VM) architektúrával szállítja az alkalmazásokat közvetlenül a fizetési terminálokhoz, függetlenül azok hardverétől vagy processzorától. Az OTA virtuális gépet számos CPU-ra telepítették. Az OTA projektben kevesebb, mint 30 programozó vett részt, két kontinensen több helyén.

A Forth alkalmazása az oktatásban

Douglas Rushkoff, amerikai médiatudós és író, szerint „megtanítjuk rá a gyerekeket hogyan használjanak szoftvert az íráshoz, de arra nem hogyan írjanak szoftvert. Ez azt jelenti, hogy hozzáférésük lesz a mások által számukra biztosított lehetőségekhez, de nem tudják majd felmérni eme technológiák értékteremtő lehetőségeit saját maguk számára” [16].

1. ábra. A 4E4th oktatási platform nyitólapja.



Forrás: [17]

Ez az idézet olvasható a 4E4th – Forth for Education nyitólapján is (1. ábra), mely a Forth programozási nyelv eddigi legnépszerűbb oktatási alkalmazásának ad otthont [17]. A Forth for Education – 4E4th and 4E4th IDE projektet Dirk Bruehl kezdeményezte 2012-ben, mikor Forth felhasználóként, találkozott az igényeit kielégítő megfelelő hardverrel [18]. Ez a Texas Instruments MSP-EXP430FR5739 Experimenter Board volt, egy az MSP430FR57xx eszközök számára készült fejlesztési platform [19]. Ez kiválóan bevált, mint az új generációs MSP430-as, FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) memóriát integráló, mikrokontrolleres eszközök alapja. Ugyanakkor kompatibilis számos kis fogyasztású TI wireless modullal is.

2018-ban, a 4E4th-nak megjelent egy új verziója [20], a B. J. Rodriguez által készített MSP430 CamelForth-ra alapozva. A CamelForth beágyazott mikroprocesszorok (8051, 8086, Z80 és 6809) számára készült, ANS Forth-tal kompatibilis megvalósítás. Eredetileg a The Computer Journal oktatási projektjének indult, de azóta népszerűvé vált a beágyazott rendszerek programozása terén. [21]

Van a Forth-nak egy fontos vonása, ami kihasználható az oktatásban is. A Forth a programozót teszi felelőssé a számítógép hatékonyságáért. Ugyan nehezebben elsajátítható, mint a hagyományos magas szintű nyelvek, amelyek lényegében hasonlítanak egymásra (vagyis egyiket megtanulva nem nehéz megtanulni másikat), de miután a programozó elsajátította, a Forth lehetőséget nyújt a processzoridő és a memória-terület minimalizálására, valamint egy olyan szervezési filozófia birtokába kerül, amellyel drámai módon csökkentheti a projektfejlesztési időt.

A kérdésre, hogy miért pont a Forth nyelvet választaná valaki oktatási eszközül, a valószínűleg legfrappánsabb választ maga a nyelv megalkotója, Charles H. Moore adta: „öröm pár egyszerű szót leírni és megoldani egy problémát. Mint agytorna, messze jobb, mint a kártya, keresztrejtvény vagy sudoku és hasznos.” [22]

Egy újabb Forth-rendszer

Természetesen, felvetődik a kérdés, teljesen jogosan, hogy mi szükség lenne még egy Forth-rendszerre? A választ a szoftver- és hardvereszközök gyors ütemű fejlődése rejti magában. Amíg a számítógépek egy alfanumerikus kijelző és billentyűzet segítségével kommunikáltak a felhasználóval, szinte minden gépre/processzorra megjelent a Forth és a megírt programok szinte módosítás nélkül használhatóak voltak bármely konfiguráción. Ám a grafikus operációs rendszerek és az új technológiák (USB, internet...) megjelenése szükségessé tette ezek használatának beépítését a programfejlesztő rendszerekbe. A Forth fejlesztésére több próbálkozás is történt, de mindegyik „intenzív” elven, azaz a szókészlet bővítésén alapult. Például a win32forth 2014 decemberi release több, mint 5000 Forth szót tartalmaz (2. ábra).

2. ábra. A Forth-79 standard szókészletének egy részlete

ok			
words			
----- FORTH -----			
EMPTY	FORTHBOOT	LOADCONFIGFILE	USERCONFIG\$
CONFIG\$	SET-SHELL	AB\$@	"OF- INCLUDE
("OF- INCLUDE)	"OF-COMPARE	("OF-COMPARE)	BACKGROUND
BACKGROUND	SIZE-POINTER	UPARROW-POINTER	WAIT-POINTER
NOWAY-POINTER	ICON-POINTER	IBEAM-POINTER	CROSS-POINTER
ARROW-POINTER	NEW-POINTER	SP>COL	SET-POINTER
NOTE	F^X	FPOP	FPUSH
(F@)	FR@	FDUP>R	F>R
R>F	FSP	FSTACK	?UPPERCASE
ASCIIZ->ASC-LEN	OF-RANGE	_OF-RANGE	SYS
	ZEXEC	.BROWSE	.DOS
.EDITOR	WIN32\$?	WIN9\$?	WIN9\$?
NT?	WITH-IMG	<CLASS	<OBJECT
HEAP>	<A	--	DOC
(*	/*	CONSOLEWINDOW	CMD
MULTISTATUSBAR	STATUSBAR	-STATUSBAR.F	COMMANDWINDOW
LOGKEYSTROKES	HANDLEKEYDOWN	HANDLEKEYS	SET-CONSOLE-POPUP
SET-CONSOLE-MENU	MENU-OFF	CONSOLE-POPUP	WIN32FORTH-POPUP-BAR
CONSOLE-MENU	WIN32FORTH-MENU-BAR		MARK-ALL
CUT-CONSOLE	COPY-CONSOLE	LOADPROJECT	COUNTMAPPEDFILE
PROJECTHNDL	LATESTPROJECTFILES	*SETTOFOREGROUND	WINDOWTOFOREGROUND
SEARCH-WINDOW	*SEARCH	*BUFFER	#NUMBER-LINE>
+TRAILING	W-SEARCH	WILDCARD	NEXT-SEARCH
TARGET-SEARCH	SCAN-FOR-WILDCARD	CONTINUE-W-SEARCH?	WILDCARD-CHAR
CONTAINING?	STARTING-WITH?	CASESENSITIVE?	LAST-CNT
SEARCHIA	COMPAREIA	S-EXCHANGE	-DUP
NEVER	W_SEARCH.F	-LOADPROJECT.F	.LDE
.WINDOWS	.DFC	DEXH	XREF
HELP-SYSTEM	CLASS-BROWSER	.FORTHFORM	.IDE
-TOOLS.F	NEWEDITDIALOG	PAGE-UP-SETUP	PAGE-UP-DIALOG
ABOUT-WIN32FORTH	IDOK3	IDD_PROMPT2_TEXT	IDOK2
IDD_EDIT2_TEXT	IDD_PROMPT2_TEXT	IDD_EDIT2_DIALOG	IDD_EDIT_TEXT2
IDD_PROMPT_TEXT2	IDD_REPLACE_DIALOG	IDB_OPTION	IDD_EDIT_DIALOG
IDD_PROMPT_TEXT	IDD_EDIT_TEXT	IDD_TITLE_TEXT	IDD_4UP _
IDD_2UP	IDD_PAGEUP	IDD_AVAIL_MEMORY	IDD_AVAIL
IDD_SAVE_MEMORY	IDD_ABOUT_TEXT4	IDD_ABOUT_TEXT3	IDD_ABOUT_TEXT2
IDD_ABOUT_TEXT	IDD_ABOUT_HEAD	IDD_ABOUT_FORTH	IDD_TEXT
IDD_CHECK	IDD_FONT	IDD_FONTDLG	FORTHDLG
BROWSEFORFOLDER	-BROWSEFLD.F	WIN-MENU-BAR	POPUPBAR
MENUBAR	NEXTID	IDCOUNTER	IDSTART
MODELESSDIALOG	DIALOG	LOAD-DIALOG	READ-DIALOG
FIND-DIALOG-ID	?DLGERR	DIALOGID?	COMBOFIELD
EDITFIELD	PICTUREBUTTON	TOOLBAR	DEFTOOLSPACING
DEFTOOLWIDTH	DEFTOOLHEIGHT	LRBUTTONBAR	HBUTTONBAR
HBUTTONBAR	VBUTTONBAR	GENERIC-BUTTONBAR	BUILDBAR
DEFBHEIGHT	DEFBWIDTH	DIALOGWINDOW	BUTTONCONTROL
RADIOCONTROL	CHECKCONTROL	STATICCONTROL	GROUPCONTROL
LISTCONTROL	COMBOLISTCONTROL	COMBOCONTROL	EDITCONTROL
CONTROL	IN-BUTTON?	MOUSE-IS-DOWN?	INFO-FLAG
CALLWINDOWPROC	SUBCLASS-ENTRY	SUBCLASS-RETURN	SUBCLASS-WNDPROC
ZMESSAGE	MESSAGE-ORIGIN	MESSAGE-ON	MSG-WINDOW
MSGWINDOW	CHILD-WINDOW	LOADICONFILE	SEND-WINDOW
FIND-WINDOW	WINDOW	WNDPROCERROR	ERRSTRING
ERRCFA	CLASSNAMEID	DEFAULTMENUBAR	DIALOG&CONTROL
ZERO-WINDOWS	GENERIC-WINDOW	GET-MOUSE-XY	WRECT
DIALOG-LINK	WINDOWS-LINK	PRINT-CONSOLE	PRINT-SCREEN
#PRINT-SCREEN	ROWSTRING	4PRINT	2PRINT
FPRINT	\$FPRINT	PRINT	PRINTER
FOUR-PAGE	TWO-PAGE	SINGLE-PAGE	PRINT-SCALED
PAGE-SCALED	PRINT-MULTI-PAGE	START-RAW2	START-RAW
START-SCALED2	START-SCALED	PAGE-SETUP	START-PRINTER2
THEPRINTER	WINPRINTER	SPLITLINE	-BLSCAN1

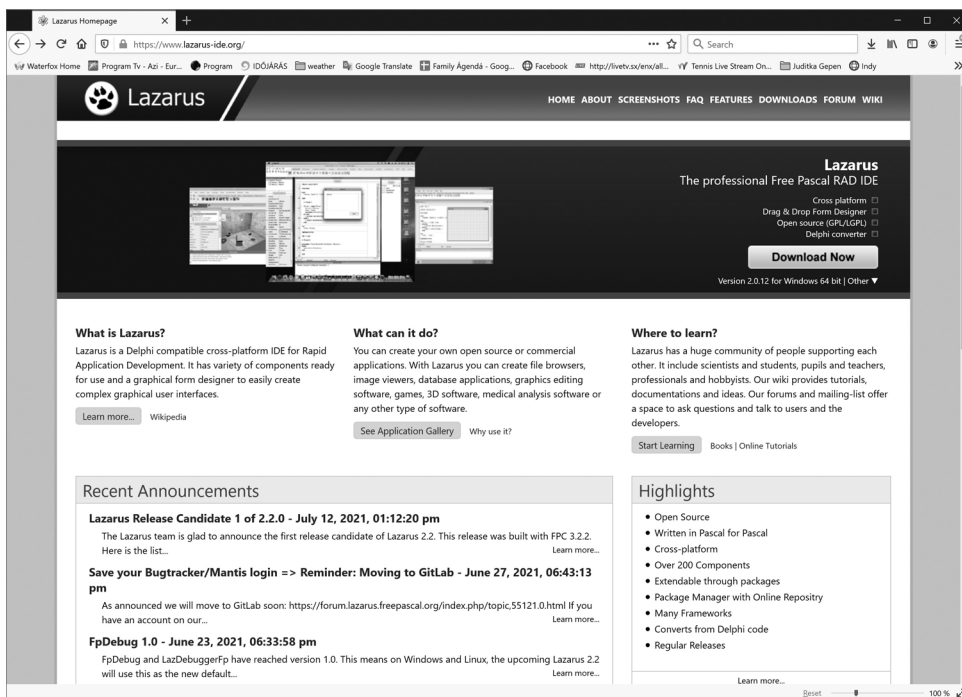
Date: Thursday, August 20 2015 10:49AM

Page: 1 of 10

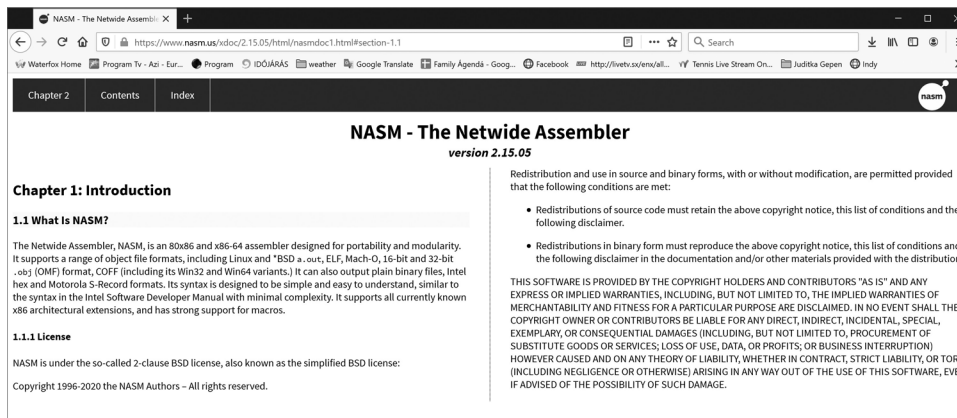
Jelen projekt lényege az új lehetőségek kihasználása Forth-ból, gyakorlatilag az alapszókészlet bővítése nélkül. Egy speciális szövegmező használatával, amely fogadja a parancsokat és kijelzőként szerepel, a Forth-rendszer beépíthető bármely Delphi/Lazarus programba, mivel a kód és adatszegmens Forth kóddal vezérelhető bármely Lazarus/Delphi komponens. A szövegben szereplő ábrákon néhány, a rendszerünkkel készült programról mutatunk be képeket. Talán a mellékelt minimális teknőc-grafika illusztrálja a legjobban ennek a kombinációnak a lehetőségeit, ez ugyanis 5–6 sornyi programmal lett felépítve.

Mivel az általunk használt Lazarus Objective Pascal IDE [23] (3. ábra), illetve NASM Netwide Assembler [24] (4. ábra) open source és cross platform eszközök, az így épített Forth természetesen futtatható Windows, MAC és Linux rendszereken is. Ugyanakkor biztosítva van a platform ingyenessége és jogtisztasága is.

3. ábra. A Lazarus Objective Pascal IDE környezet



4. ábra. A NASM Netwide Assembler környezet



A Forth-rendszer használata a modern operációs rendszerekben két fő problémába ütközik. Az első, hogy az 1994-es szabvány kb. 200 Forth-utasítást tartalmaz. Ezek egytizedének az ismeretében el lehet kezdeni a Forth használatát bevezető alapszintű problémák megoldására, ami egy újonc számára is elfogadható sőt, megfelelő útmutatással vonzó is lehet. Természetesen később a programozó használni szeretné az operációs rendszer által hozzáférhetővé tett technológiákat is úgy, mint internet, grafika, USB bővítések stb. Amint azt fennebb említettük, létező Forth-rendszerek ezt az alapszótár bővítésével oldják meg, mint például a Winforth32, ami évekkel ezelőtt is 5000+ utasítást tartalmazott. Ez egyértelműen elbátortalanítja még a lelkes érdeklődőket is.

5. ábra. Példák szókészlet-bővítésekre

```

Nucleus layer

! * */ */MOD + +! - / /MOD 0< 0= 0> 1+ 1- 2+
2- 2/ < = > >R ?DUP @ ABS AND C! C@ CMOVE
CMOVE> COUNT D+ D< DEPTH DNEGATE DROP DUP EXECUTE
EXIT FILL I J MAX MIN MOD NEGATE NOT OR OVER PICK
R> R@ ROLL ROT SWAP U< UM* UM/MOD XOR

Device layer

BLOCK BUFFER CR EMIT EXPECT FLUSH KEY SAVE-BUFFERS
SPACE SPACES TYPE UPDATE

Interpreter layer

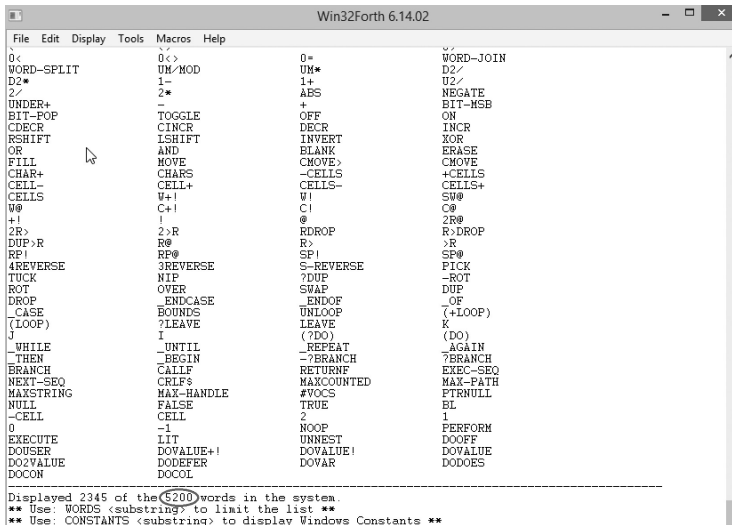
# #> #S #TIB ' ( -TRAILING . .( <# >BODY >IN
ABORT BASE BLK CONVERT DECIMAL DEFINITIONS FIND
FORGET FORTH FORTH-83 HERE HOLD LOAD PAD QUIT SIGN
SPAN TIB U. WORD

Compiler layer

+LOOP , ." : ; ABORT" ALLOT BEGIN COMPILE CONSTANT
CREATE DO DOES> ELSE IF IMMEDIATE LEAVE LITERAL LOOP
REPEAT STATE THEN UNTIL VARIABLE VOCABULARY WHILE
['] [COMPILE] ]

```

6. ábra. Példa szókészlet-bővítésre



7. ábra. Példa szókészlet-bővítésre

```
TASK CLS FORTH \ WHILE ELSE IF REPEAT AGAIN END UNTIL
+LOOP LOOP DO THEN ENDIF BEGIN BACK BYE VLIST --> LOAD
BLOCK U. ? . D. .R D.R #S # SIGN #> <# SPACES RBUF
M/MOD */ */MOD MOD / /MOD * M/ M* MAX MIN DABS ABS
S->D COLD ABORT QUIT ( DEFINITIONS FORGET ' VOCABULARY
IMMEDIATE INTERPRET ?STACK U< DLITERAL LITERAL [COMPILE]
CREATE ID. ERROR (ABORT) UPPER -FIND NUMBER (NUMBER) WORD
PAD HOLD BLANKS ERASE FILL QUERY EXPECT ?ALIGN ."
(." -TRAILING TYPE COUNT DOES> <BUILDS (;CODE) OCTAL
DECIMAL HEX SMUDGE ] [ COMPILE ?LOADING ?CSP ?PAIRS ?
EXEC ?COMP ?ERROR !CSP PFA NFA CFA LFA LATEST TRAVERSE
-DUP 2DROP 2DUP SPACE ROT > < = - , ALLOT HERE 2+ 1+
ATTR FILE PREV USE HLD R# CSP FLD DPL BASE STATE
CURRENT CONTEXT OFFSET SCR OUT IN BLK LIMIT FIRST VOC-
LINK DP FENCE WARNING WIDTH TIB R0 S0 +ORIGIN B/SCR
B/BUF C/L BL 3 2 1 0 USER VARIABLE CONSTANT ; : C! !
C@ @ TOGGLE +! DUP SWAP DROP OVER MINUS 0< 0= R R>
>R LEAVE ;S RP! SP! SP@ XOR OR AND U* U/ CMOVE KEY
TRKEY CR ?TERMINAL GOTOXY EXCALL EMIT ENCLOSE (FIND)
DIGIT I (DO) (+LOOP) (LOOP) 0BRANCH BRANCH D+ + EXECUTE
LIT OK
```

A másik probléma pedig az, hogy a mai grafikus felületű operációs rendszerek alapfüggvényei, mint például az ablakkezelés nem ritkán 10, vagy akár több paramétert is használnak. Ugyanakkor: „a Forth-programozás jelenlegi trendje az, hogy kerüljük a verem mélyebbé tételét 3 vagy 4 elemnél. Az ennél mélyebb verem általában annak a jele, hogy a programot nem megfelelően gondolták át.” [18] Még ha le is szűkítenénk a szótár bővítését a minimumra, a túl sok paraméter használata a verem átláthatóságát csökkenti és ezáltal a Forth programozási filozófia lényegének szem elől vesztesét okozza.

A továbbiakban leírt módszer mindkét akadályt áthidalja, egy adott problémakörhöz a RAD-rendszerben megírt általában néhány, szó szerint pár sornyi modul és a hozzá tartozó egységes Forth-interfész révén.

Példák

A továbbiakban bemutatunk néhány, a már említett Forth-fejlesztésben készített példaprogramot. Sajnos a kódok által megvalósított dinamikus struktúrákat itt csak néhány statikus ábrával tudjuk illusztrálni.

1. HANOI TORNyai

```
: move1 swap . . cr ;
```

```
: move1 213 excall swap . . cr ;
```

```
0 variable h_addr
```

```
: hanoi dup 1 = if drop move1 else
```

```
>R over over over + 6 swap - R 1 - h_addr @ execute
```

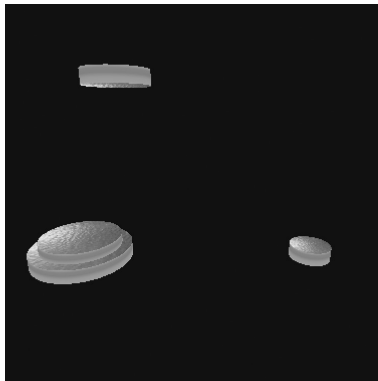
```
over over move1
```

```
swap over + 6 swap - swap r> 1 - h_addr @ execute endif ;
```

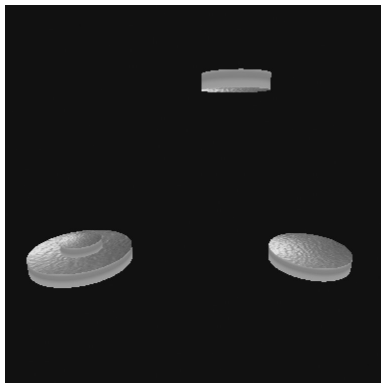
```
' hanoi cfa h_addr !
```

1 sor hozzáadásával (over over move1) szemléletes animációt hoztunk létre:

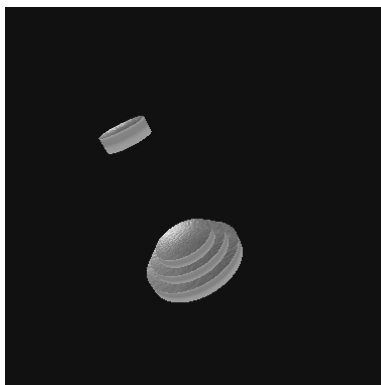
8. ábra. Hanoi tornyai 1.



9. ábra. Hanoi tornyai 2.



10. ábra. Hanoi tornyai 3.



2. PI KISZÁMÍTÁSA

Bár a Forth-rendszer egész számokkal dolgozik, ez a példa a Pi, a kör kerület/átmerő arányának (π) értékét számítja ki többszáz tizedesnyi pontossággal, Euler képlete alapján:

11. ábra. Pi kiszámítása

$$\frac{\pi}{4} = \arctan \frac{1}{2} + \arctan \frac{1}{3}$$

$$\arctan x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} x^{2n+1} = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \dots$$

```

1000 constant v_l 0 variable ind
here v_l 4 * allot constant vtempa here v_l 4 * allot constant vtempb
here v_l 4 * allot constant at1/2 here v_l 4 * allot constant at1/3
:v@ 4 * r# @ + @ ; :v! 4 * r# @ + ! ;
:v_zero v_l 0 do i 4 * over + 0 swap ! loop drop ;
:v_print dup @ 1 d.r 46 emit v_l 1 do i 4 * over + @ 1 d.r loop drop ;
:c/ swap r# ! 0 v_l 0 do 10 * i v@ + over /mod i v! loop drop ;
:c* swap r# ! 0 v_l 0 do over v_l i - 1 - v@ * + 10 /mod swap v_l i - 1 - v! loop drop ;
:v+ swap r# ! 0 v_l 0 do v_l i - 1 - v@ swap + over v_l i - 1 - 4 * + @ + 10 /mod
swap v_l i - 1 - v! loop drop ;
:v:= swap r# ! v_l 0 do dup i 4 * + @ i v! loop drop ;
:v- swap r# ! 0 ind ! begin ind @ v@ 0= while 1 ind +! repeat
v_l 1 - ind @ do i v@ 1 - i v! 10 i 1+ v@ + i 1+ v! loop
0 v_l 0 do v_l i - 1 - v@ + over v_l i - 1 - 4 * + @
- 10 /mod swap v_l i - 1 - v! loop drop ;

vtempa v_zero 5 vtempa 4 + ! at1/2 vtempa v:=
:c_at1/2 100 1 do vtempa 4 c/ vtempb vtempa v:= vtempb i + 1+ c/ at1/2 vtempb
i 2 mod if v- else v+ endif loop ; c_at1/2

```

at1/3 v_zero 1 at1/3 ! at1/3 3 c/ vtempa at1/3 v:=

: c_at1/3 100 1 do vtempa 9 c/ vtempb vtempa v:= vtempb i i + 1+ c/ at1/3 vtempb
i 2 mod if v- else v+ endif loop ; c_at1/3

at1/2 at1/3 v+ at1/2 4 c* at1/2
cr cr ." PI = " v_print cr

Végrehajtás:

PI =

3.141592653589793238462643383279502884197169399375105820974944587
34437321538295376117614603945866419742307357130104932178994142901
91677721975482080111611784213707346556916072874749797963710806365
38111206230405528218070576329057925402081947421780511069476458023
99932921571046675475420374232180268792410134691659518585213598449
20767358804946747345712030063025145576704396915548362245833830913
73466398544594682380526838178493318223474814725796671080713297390
95166926844160375748446628322025101603352391239010539656295460932
05160399457031789098301143022696362323878213580456449260048604264
48031168494909216983899518708064610176494193661024380034854727866
33316928861193511654811079070811452536787953713999315319803361006
13022145585505207297124366836230175554369288524732676098812050165
77871362324685875034470906652738835934399526451762206844401493563
41202450789031429478911954474499001931340623868227425066397982009
86876517158640619357175225145973785962598604299127767657507236819
29472090952787340999460004

OK

3. 'TEKNŐC' GRAFIKA 3D VÁLTOZATA

Ez a bővítés további fejlesztési lehetőségeket kínál, mint például robotkar interaktív vezérlése, mértani hely problémák szemléltetése stb.

Lévén ez egy aránylag bonyolult bővítés, ezért a teljes implementációt bemutatjuk illusztrálendő, hogy ez esetben is relatíve kevés programsorral megoldható a Forth 3D utasításkészlet létrehozása.

Pascal Opengl implementáció (a tényleges 3D utasítások végrehajtása):

```
-----
x3ang:=1; y3ang:=0; z3ang:=0;x3poso:=0;y3poso:=0;z3poso:=0;
if nrcmd>0 then
for i:=0 to nrcmd-1 do begin // dec
    if cmd[i]=5 then begin // ~moveto
x3poso:=x3poso+cparam[i]*x3ang; y3poso:=y3poso+cparam[i]*y3ang;
z3poso:=z3poso+cparam[i]*z3ang;
end;

    if cmd[i]=10 then begin // dirx
        x3ang:=1; y3ang:=0; z3ang:=0;
    end;
    if cmd[i]=8 then begin // ~moveto
        x3poso:=xparam[i]; y3poso:=yparam[i]; z3poso:=zparam[i];
    end;

    if cmd[i]=7 then begin // ~lineto
        glBegin(GL_LINES);
        glVertex3d(x3poso,y3poso,z3poso);
        dist:=sqrt((x3poso-xparam[i])*(x3poso-xparam[i])+(y3poso-yparam[i])*(y3poso-yparam[i])+(z3poso-zparam[i])*(z3poso-zparam[i]));
        x3ang:=-x3poso-xparam[i])/dist;y3ang:=-y3poso-yparam[i])/dist;z3ang:=-z3poso-zparam[i])/dist;
        x3poso:=xparam[i]; y3poso:=yparam[i]; z3poso:=zparam[i];
        glVertex3d(x3poso,y3poso,z3poso);
        glEnd();
    end;
```

```

if cmd[i]=4 then begin    // ~lin
  glBegin(GL_LINES);
  glVertex3d(x3poso,y3poso,z3poso);
  x3poso:=x3poso+cparam[i]*x3ang; y3poso:=y3poso+cparam[i]*y3ang;
  z3poso:=z3poso+cparam[i]*z3ang;
  glVertex3d(x3poso,y3poso,z3poso);
  glEnd();
end;

if cmd[i]=3 then begin // rz
  ang:=arctan(y3ang/x3ang)+pi*2.0*cparam[i]/360;
  if x3ang<0 then ang:=pi+arctan(y3ang/x3ang)+pi*2.0*cparam[i]/360;
  rrt:=sqrt(y3ang*y3ang+x3ang*x3ang);
  x3ang:=rrt*cos(ang);y3ang:=rrt*sin(ang);
end;

if cmd[i]=2 then begin // ry
  ang:=arctan(x3ang/z3ang)+pi*cparam[i]/180;
  if z3ang<0 then ang:=pi+arctan(x3ang/z3ang)+pi*cparam[i]/180;
  rrt:=sqrt(z3ang*z3ang+x3ang*x3ang);
  z3ang:=rrt*cos(ang);x3ang:=rrt*sin(ang);
end;

if cmd[i]=1 then begin // rx
  ang:=arctan(z3ang/y3ang)+pi*2.0*cparam[i]/360;
  if y3ang<0 then ang:=pi+arctan(z3ang/y3ang)+pi*cparam[i]/180;
  rrt:=sqrt(y3ang*y3ang+z3ang*z3ang);
  y3ang:=rrt*cos(ang);z3ang:=rrt*sin(ang);
end;

```

Pascal oldalról a Forth interfész:

case gparam of

```

1011 : begin Image1.left:=OpenGLControl1.left; // cl
        Image1.top:=OpenGLControl1.top;Image1.height:=384;Image1.width:=384;
        OpenGLControl1.visible:=false; image1.visible:=true;
        image1.canvas.fillrect(classes.rect(0,0,384,384));
        image1.canvas.pen.width:=3;
        image1.canvas.moveto(150,150); angle:=0;xpos:=150;ypos:=150;
//      image1.canvas.lineto(200,300);
end; // cl

1012 : begin angle:=angle+s0; end; //RT

1014 : begin //FD
        xpos:=round(s0*sin(pi*2.0*angle/360))+xpos;
        ypos:=round(s0*cos(pi*2.0*angle/360))+ypos;
        image1.canvas.lineto(xpos,ypos); delay(TrackBar1.position*100);
end; // FD

1018 : begin //plot
        image1.canvas.pixels[s0,s4]:=clred;
end; // PLOT

1050 : begin // rdwr
        DrawGLScene();
        OpenGLControl1.SwapBuffers;
        sleep(200);
end;

1051 : begin // cl
        nrcmd:=0; x3ang:=1;  y3ang:=0; z3ang:=0;x3poso:=0;y3poso:=0;z3poso:=0; end;

1052 : begin // lin
        cmd[nrcmd]:=4;cparam[nrcmd]:=s0/100;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

1053 : begin // mov
        cmd[nrcmd]:=5;cparam[nrcmd]:=s0/100;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

```

```
1054 : begin // rz
      cmd[nrcmd]:=3;cparam[nrcmd]:=s0 /100;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

1055 : begin // ry
      cmd[nrcmd]:=2;cparam[nrcmd]:=s0 /100;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

1056 : begin // rx
      cmd[nrcmd]:=1;cparam[nrcmd]:=s0 /100;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

1057 : begin // lineto
      cmd[nrcmd]:=7;xparam[nrcmd]:=s0 /100;
      yparam[nrcmd]:=s4 /100;  zparam[nrcmd]:=s8 /100;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

1058 : begin // moveto
      cmd[nrcmd]:=8;xparam[nrcmd]:=s0 /100;
      yparam[nrcmd]:=s4 /100;  zparam[nrcmd]:=s8 /100;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

1060 : begin // dirx
      cmd[nrcmd]:=10;  nrcmd:=nrcmd+1; end; //

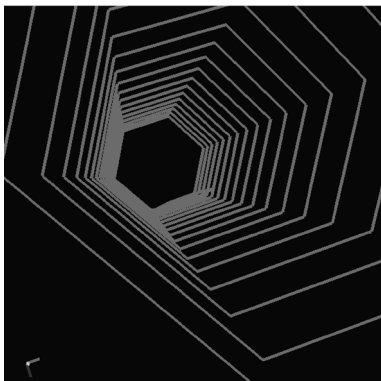
end; // case
//sleep(100);
application.processmessages;
-----
Forth 3D bővítés interfész:
: rdrw 1050 excall ;
: cl 1051 excall ;
: lin 1052 excall drop ;
: mov 1053 excall drop ;
: rx 1056 excall drop ;
: ry 1055 excall drop ;
: rz 1054 excall drop ;
: lineto 1057 excall drop drop drop ;
: moveto 1058 excall drop drop drop ;
: dirx 1060 excall ;
```

Mivel elég nehéz 3D modelleket szövegben leírni, ezért a következőkben képekkel illusztráljuk a lehetőségek egy részét. A létrehozott térbeli modellek egér segítségével szabadon forgathatók, ill. görgetéssel nagyítás/kicsinyítés érhető el. Kiemelnénk a képek bal alsó sarkában látható RGB koordinátarendszert, ami a mindenkori abszolút XYZ irányokat mutatja. Ez nagyban megkönnyíti a térbeli érzékelést (ugyanakkor sok kereskedelmi 3D programból is hiányzik).

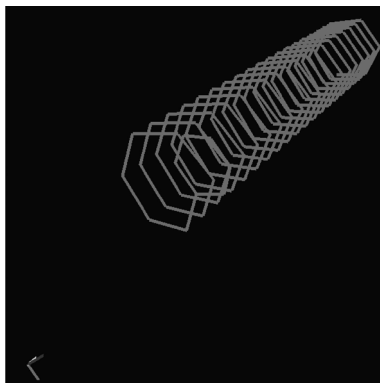
3.1 statikus 3D ábra

```
: aa 6 0 do 6000 rz 160 lin loop  
500 rz  
116 0 do 6000 ry 260 lin loop ;
```

12. ábra. 'Teknőc' grafika 3D változata – statikus 3D ábra



13. ábra. 'Teknőc' grafika 3D változata – statikus 3D ábra

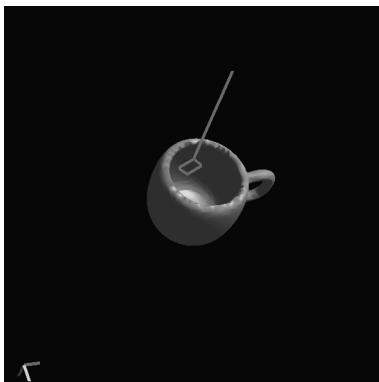


3.2 Animált 'vektor kiskandál'

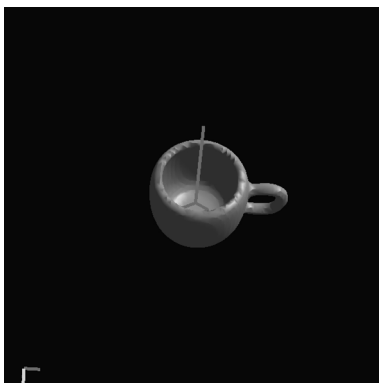
```
: spoon // 9000 ry 100 mov -9000 ry  
4500 ry 40 lin 9000 ry 40 lin  
-4500 ry 250 lin -250 mov 13500 ry  
40 lin 9000 ry 40 lin ;
```

```
: stir 4 0 do  
0 0 -50 moveto spoon dirx rdrw cl  
0 -50 0 moveto spoon dirx rdrw cl  
0 0 50 moveto spoon dirx rdrw cl  
0 50 0 moveto spoon dirx rdrw cl  
loop ;
```

14. ábra. Animált 'vektor kiskanál' 1.



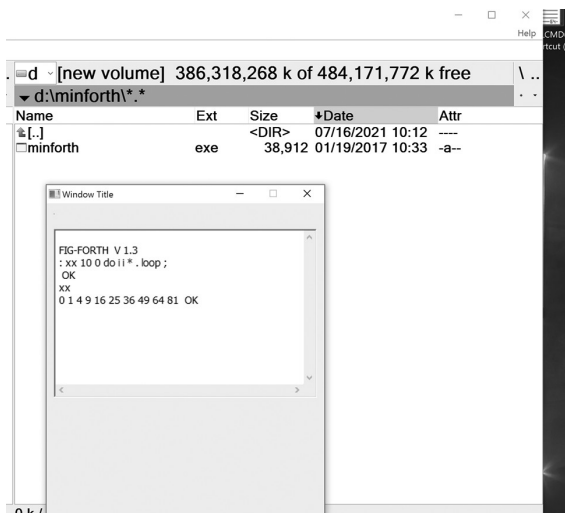
15. ábra. Animált 'vektor kiskanál' 2.



TOVÁBBI LEHETŐSÉGEK

Befejezésül megemlítenénk még egy fejlesztés alatt álló irányvonalat. Mivel egy Forth-rendszer szerves része a beépített fordító is, ezért kiválóan alkalmas evolúciós programok létrehozására. Az alapötlet viszonylag egyszerű: több ezer, vagy akár tízezer, azonos algoritmuson alapuló, de véletlenszerű módosításokat tartalmazó program egyidejű futtatása, majd ezek szűrése különböző kritériumok alapján. Elméletileg, igen sok generáció után bonyolult problémákat megoldó programok is létrejöhetnek. Ebben az irányban haladva hoztuk létre a minimális Forth-rendszert, amely egy 40k alatti EXE, ami lehetővé teszi egy otthoni gépen is a több ezer program-példány futtatását (16 ábra).

16. ábra. A minimális Forth-rendszer



Irodalomjegyzék

- [1] M. Bartha–Z. Zakota (2015): „Using Forth Integrated with Pascal / C++ Development Systems in Education,” In: *Report of Meeting Researches in Didactics of Mathematics and Computer Sciences*, Novi Sad.
- [2] M. Bartha–Z. Zakota (2015): „Using an Integrated Adaptive Forth System in Education,” In: *Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Learning ICVL 2015*, Timișoara, 2015.
- [3] European Parliament, The, „European Parliament legislative resolution on the Commission communication on e-Europe – An Information Society For All: a Commission Initiative for the Special European Council of Lisbon, 23/24 March 2000 (COM(1999) 687 “ C5-0063/2000 “ 2000/2034(COS)),” 2000.
- [4] Commission of The European Communities, „Communication from The Commission to The Council, The European Parliament, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions - “i2010 – A European Information Society for growth and employment” {SEC(2005) 717},” Brussels, 2005.
- [5] EP–C, „REGULATION (EU) 2021/694 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 April 2021 establishing the Digital Europe Programme and repealing Decision (EU) 2015/2240,” 29 04 2021. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0694&from=EN>. [Hozzáférés dátuma: 15. 04. 2021]
- [6] Zakota Zoltán (2020): „Oktatás járvány idején – az alkalmazkodás nehézségei,” Civil Szemle. *Oktatás, digitalizáció, civil társadalom különszám*, Pp. 59–71.
- [7] ALA, „Digital Literacy,” American Library Association, 2021. [Online]. Available: <https://literacy.ala.org/digital-literacy/>. [Hozzáférés dátuma: 14. 07. 2021.]
- [8] A. C. Clarke (1977): *Profiles of the Future – An Inquiry into the Limits of the Possible* Revised edition, 2nd Eds., *Popular Library*, CBS Publications.
- [9] A. Seres–L. Fenyő–K. Gyalogh (1986): *A FORTH programozási nyelv*, Budapest: Műszaki.
- [10] C. H. Moore (1974): „FORTH: A New Way to Program a Mini-Computer,” *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 1. (15.) Pp. 497–511.
- [11] C. H. Moore–G. C. Leach (1970): „FORTH - A Language for Interactive Computing,” Amsterdam–NY.
- [12] „The Evolution of Forth,” FORTH, Inc., [Online]. Available: <https://www.forth.com/resources/forth-programming-language/>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2015.]
- [13] L. Brodie (1981): *Starting FORTH*. NJ: Prentice-Hall, Inc.
- [14] G. Lipovszí–L. Subai–T. Beszeda (1985): *FORTH programozási rendszer és nyelv*. Budapest: LSI Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat.
- [15] „Introductions,” FORTH, Inc., 2021. [Online]. Available: <https://www.forth.com/starting-forth/0-starting-forth/>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]
- [16] D. Rushkoff (2010): *Program or be Programmed*. New York: OR Books.
- [17] „4E4th – Forth For Education,” [Online]. Available: <http://www.4e4th-ide.org/>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]
- [18] D. Bruehl: „Forth for Education – 4E4th and 4E4th IDE,” [Online]. Available: <http://www.complang.tuwien.ac.at/anton/euroforth/ef12/papers/bruehl.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]
- [19] Texas Instruments, „MSP-EXP430FR5739 Experimenter Board,” [Online]. Available: <https://www.ti.com/tool/MSP-EXP430FR5739?DCMP=ep-mcu-msp-dsbg-en&HQS=ep-mcu-msp-dsbg-pr-evm2-en>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]

- [20] „4E4th - the New Version 2018,” Forth – Gesellschaft e.V., [Online]. Available: <https://wiki.forth-ev.de/doku.php/en:projects:4e4th:start>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]
- [21] „CamelForth,” [Online]. Available: <http://www.camelforth.com/news.php>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]
- [22] N. Hamilton: „*The A-Z of Programming Languages: Forth*,” 08. 07. 2008. [Online]. Available: <http://www.computerworld.com/article/2534609/app-development/the-a-z-of-programming-languages--forth.html>. [Hozzáférés dátuma: 21. 08. 2015.]
- [23] „Lazarus – The professional Free Pascal RAD IDE,” [Online]. Available: <https://www.lazarus-ide.org/>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]
- [24] „NASM,” [Online]. Available: <https://www.nasm.us/>. [Hozzáférés dátuma: 15. 07. 2021.]
- [25] A. Bloch (1989): *Murphy törvénykönyve, avagy miért romlik el minden?* Budapest: Gondolat.
- [26] J. V. Noble: „*A Beginner's Guide to Forth*,” [Online]. Available: <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/551.jvn.fall01/primer.htm>. [Hozzáférés dátuma: 14. 07. 2021.]