



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

JURÁS ZSOLT:

Drones in Smart Cities

DOMÁN LÁSZLÓ:

*Katonai helikopterek komplex elektronikai
hadviselési önvédelmi rendszereinek értékelése*

UJJADY ANDRÁS, MAJOR GÁBOR:

A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl

33. évf. (2021)
2. szám

HU ISSN 1417-0604 (nyomtatott)
HU ISSN 1789-770X (elektronikus)



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Repüléstudományi Közlemények

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Elektronikus kiadás
HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604

A szerkesztőbizottság elnöke

Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

A szerkesztőbizottság tagjai

Dr. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Bottyán Zsolt (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Kavás László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)
Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD., MBA, LL.M. (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)
Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Szerkesztőség

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) főszerkesztő
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztő
Törőcsik Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztőségi titkár
Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.
Levelezési címe: 5008 Szolnok, Pf. 1.
e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó Iroda
1083 Budapest, Ludovika tér 2.
kiadvanyok@uni-nke.hu • +36 1 432 9000

A kiadásért felel: Koltay András rektor

Borítókép: a képet Kővári László † (jetplanes.blog.hu) készítette.



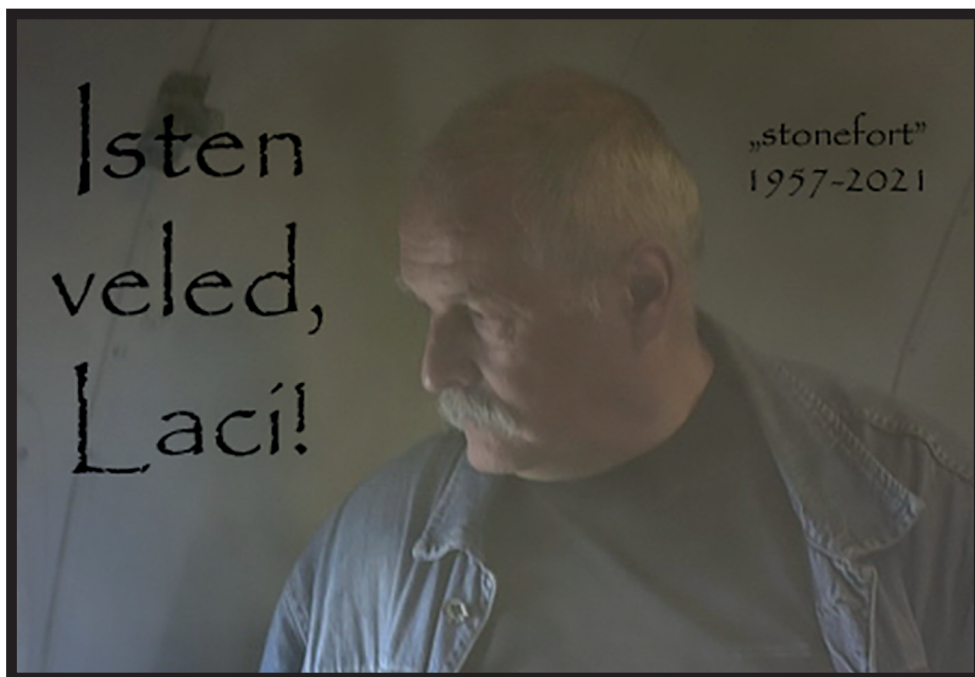
Tartalom

Elment Kővári Laci.	5
Zsolt Jurás: Drones in Smart Cities.	7
Rémai Dániel: A légi uralom elméletének hatása az Izraeli Légierő kialakulására és fejlődésére	19
Nagy Imre: Megakonstellációk	31
Domán László: Katonai helikopterek komplex elektronikai hadviselési önvédelmi rendszereinek értékelése	45
Balajti István, Turai András: Kiemelten fontos objektumok drón általi légi megfigyelések elleni védelmi képességeinek performanciavizsgálata.	65
Beneda Károly, Kavas László, Varga Béla: A CFM56 típusú kétáramú gázturbinás sugárhajtómű égésterének numerikus áramlástani modellezése.	81
Paulov Attila: Légiforgalmi áramlásszervezési eljárások bevezetése a Magyar Honvédség repülőterein	97
Sándor Zsolt, Pusztai Máté: Pilóta nélküli légijármű-rendszerek tanúsítása – avagy a termékbiztonságtól a típusalkalmasságig	113
Horváth Gergely, Szilvássy László: Az Airbus H145M helikopter fegyverei II. – HForce-fegyverrendszer	129
Zsolt Jurás: The Role of Drones in Enhancing Production Efficiency of Nuclear Facilities	143
Estók Sándor: Az űrhaderő és az űrstratégia a többpólusú világban	153
Ujjady András, Major Gábor: A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl	167



Elment Kővári Laci

Döbbsenten és megrendülten értesültünk a tragikus hírről, hogy a magyar repülőszakmai újságírás egyik legkiválóbbja, az *Aranyas* című kitűnő folyóirat főszerkesztő-helyettese, több mint ezer kiváló publikáció, valamint a népszerű *Jetplanes* blog szerzője, *Kővári László* „stonefort” elveszítve az ádáz vírussal vívott utolsó csatáját, életének 65. évében elhunyt.



<https://legiero.blog.hu/>

Széles körű elismertségét és népszerűségét azzal az igényességgel párosuló, folyamatosan bővített, kiváló szakmai felkészültségével vívta ki, amelyet képes volt olvasóinak mindvégig egyenletesen magas színvonalú, érdekesítő írásaiban tovább is adni. Mindez megbízhatósággal, önzetlen segítőkészséggel, szerénységgel és többünkkel ápolt igaz barátsággal is párosult.

Hivatása és hobbija egybeesett: a repülés volt. Fiatalon – az akkor katonai repülőgépek ipari javításával foglalkozó – Pestvidéki Gépgyárban kezdett dolgozni, majd innen igazolt át Ferihegyre, az ott dülő krónikus átalakulások során különböző repülőgép-üzembentartó vállalatokhoz. A többműszakos embert próbáló munkáján, az újságíráson és lapszerkesztésen kívül jutott energiája társadalmi szervezetekben is tevékenykedni, így a Magyar Hadtudományi Társaság Légierő szakosztályának is aktív, elismert tagja volt.



A kiváló publicistateljesítmény remek fotós érzékkel is párosult, mestere volt a ritka és érdekes, különleges pillanatok megörökítésének. Illusztrálja ezt két, általa rögzített fénykép. Egyiken egy Mi-8-as helikopter előtt haladó Jak-52 repülésének azt a momentumát ragadta meg, amikor virtuálisan összeolvadva „új típusúvá váltak”, míg a másikon egy a ferihegyi éjszakába belehasító villám látható.



2022-ben vonult volna nyugdíjba és vált volna nagyapává is, amire boldog izgalommal készült.

Laci! Valamennyiünknek nagyon fogsz hiányozni, köszönjük áldozatos munkádat és barátságodat. Nyugodj békében!

A *Repüléstudományi Közlemények* szerkesztői és olvasói nevében:

Prof Dr. Óvári Gyula
a szerkesztőbizottság elnöke

Zsolt Jurás

Drones in Smart Cities

Rapid development of information and communication technologies (ICT) in Hungary provides great opportunities for the emergence of smart cities in the years to come. A similar or even a larger-scale development is experienced in the market of unmanned aerial vehicles (UAV). Over the past years, the unmanned aerial vehicles (UAVs) – commonly known as drones – have been demonstrating a rapid expansion not only in the area of government and industry use but in the public sector, as well. A selection of more than 1,700 types of drones is available in almost any of the online stores. The great variety of offered types implies the diversity and possibility of a multi-purpose use, from the agricultural sector through security technology to market/civil services. Wandering a little bit from the point of device dimension and moving into the systems dimension, the integration of devices fulfilling various functions allows to implement cost-effective and sustainable complex system, providing a high level of comfort. By weaving two innovative areas for development into each other, one can significantly expand the possibilities of using drones in the everyday life. This article focuses on the description (non-exhaustive) of potential application areas resulting from the integration of drones and smart city technologies, putting particular emphasis on security-related roles and new tasks arising from the operation of smart cities.

Keywords: UAV, ICT, smart city, UAM, cities of tomorrow, AAV

1. Introduction

The creation of smart cities was initiated by the boost in the ICT development [1] back in 2008–2009, as the emergence of two extremely important areas – a large-scale development of wireless networks and appearance of so called IoT tools (Internet of Things) – goes back to that time [2]. In addition to urbanisation processes, economic development and social maturity, technical development is considered one of the most important drivers for the emergence of smart cities. Application of new technologies has enormous potential in the development of cities, which requires the determination of innovation directions and elaboration of a unified system of definitions and concepts, so I am going to start my article with the definition and explanation of the smart city concept. Needless to say, that I am not going to create a new definition and prefer to use as a basis those already existing concepts that best fit in with the systematisation of new directions for development arising from the merge of drone and smart city technologies.

2. Dimensions and functions of a smart city

Smart City is not the term that exactly defines the underlying content, but rather a designation that can be used as a generic concept. When dealing with this topic, we can also come across such terms as "digital city" and "intelligent city", which can also be linked to sustainable, economically efficient urban development, as well as to the functions and services opening up new dimensions and arising from the application of ICT technologies. In terms of the international professional literature, in my point of view, the most communicative wording is the definition offered by the British Standards Institution (BSI) [3] since it seems to be sufficiently general, comprehensive and fits into the topic touched upon by the publication. The above-mentioned definition specifies smart city as one where there is "effective integration of physical, digital and human systems in the built environment to deliver a sustainable, prosperous and inclusive future for its citizens". Needless to say, that many other approaches exist in addition to the above-described one, due to the fact that this concept is widely used and, correspondingly, those using the concept put their own viewpoint in its centre. Some other definitions to mention:

- Digital city. Digital city is understood as a wired, digitalised city that uses ICT for both data processing and information sharing, but also supports communication and Web 2.0 democracy [4] [5].
- Sustainable city. It is understood as a city using technology to reduce CO₂ emissions, to produce energy in an efficient way and to improve energy efficiency of buildings: it will be a green city [6].
- Technological city. It is understood as a city using technology to improve its infrastructure and services, efficiency and effectiveness: its smart projects focus on urban space quality, mobility, public transport and logistics [7].
- In Hungary, Government Decree 314/2012 (XI.8.) provides the definition of a smart city in two parts, as follows: "a settlement that elaborates and implements its integrated urban development strategy based on the smart city methodology. Smart city methodology: urban development methodology of settlements or a group of settlements that develops their natural and built environment, digital infrastructure, as well as the quality and economic efficiency of municipal services using cutting edge and innovative information technologies, in a sustainable way and with increased public involvement".

The wording formulated in the above Hungarian legal act, as well as definitions provided in the publication of the British Standards Institution (BSI) describe the way leading to the achievement of the desired state, i.e. its methodology, rather than the achievable state itself. Typically, studies carried out by key players of the industrial sector break-down the areas determining the directions for development into sub-systems covering, as a rule, 6–8 sub-areas (security, people, energy, economy, communication, government, environment, mobility, services, water) [8]. Based on the above, the general goal is to make the city – in addition to economy and sustainability – more liveable, more secure, more lovable and more attractive. In order to achieve this goal, one should determine development directions that would assure that the residents feel better and also offer a solution to the problems of the settlement [9]. Nowadays, these goals can be easily achieved with the help of ICT, the effectiveness of

which can be further enhanced by the use of UAV devices. New, important functions appear at the intersection of ICT and UAV technologies, and the efficiency of existing ones can be further increased. During the past few years, rapid development – among others – of the aerospace, computer, instrumentation and control technologies has opened the possibility for a wide-range expansion of such devices that previously were available only to a small, specific user community. Nowadays, the most dynamically developing type seems to be the unmanned aerial vehicles. Not a day goes by without reading in mass media about UAV-related innovations, developments and new areas of application [10]. While analysing the market of potential application of UAV devices, three major areas can be identified according to the classification based on certain sectors using the technology:

- Recreational (hobby) use, civil application
- Industrial and commercial use
- Public service area

At the present moment, the highest market potential of UAVs within industrial and commercial area of application is connected with the infrastructure industry (36%), which means a considerable area for development in case of smart cities [11]. Furthermore, the use of the integrated approach in the application of smart city technologies can be considered the basic principle [9]. It can be definitely stated that the direct consequence of a higher degree of integration is the appearance of a larger number of digital platform devices and systems in urban management. It is not difficult to come to a conclusion that such a situation results in an increasing demand for energy that should be generated in all cases in an economically efficient and environment-friendly manner provided that we want to fit in with the smart city concept. Obviously, one of the plausible solutions to meet the demand for energy is the application of technologies for renewable energy generation. It can be stated that there is no smart city without renewable energy generation. At the present moment, the most dynamically developing area is connected with photovoltaic power generation solutions, which are able to generate electricity for the grid and can be easily implemented into local, decentralised urban environments as well. The pre-condition for the uninterrupted and reliable power supply lies in regular and professional maintenance and inspection; an UAV equipped with a thermal camera can become a cost-effective tool of such an activity, taking into consideration the specifics of photovoltaic power generation [12].

3. Hobby use for civil purposes in the light of smart cities

According to the Aviation Act (Hungarian: Lt.), the use of UAS (Unmanned Aircraft Systems) means: the use of an unmanned aircraft for recreational purposes, not being in connection with the economic use and execution of governmental tasks [8]. In practice, this type of application is limited to a very narrow scope, for example, photography and aerial video recording. However, in terms of smart cities, photos and videos taken by a large number of hobby drones can be one of the input sources of a big data system, in case of an appropriate regulatory basis. Exactly for this functional possibility it should be emphasised that it is not the use of these unmanned aircrafts that may pose a data protection problem, but the atypical data management with additional accessories that can be attached to these devices.

The difference as compared to the previous data management method is that even with the intended use, the infringement of privacy (or even a significant disturbance) can pose a high risk since the device collects data about everything and everyone "on its way" without any distinction [13].

4. Industrial and commercial use in the light of smart cities

Two interesting uses are worth mentioning in this area of use.

4.1 Installation, operation and maintenance of solar cells

Having completed the installation of solar cells, it is recommended to record a zero-energy state of the system after some 10 operating hours. First of all, it means testing with the use of a thermal camera aimed at revealing defects that can be traced back to damages, installation errors or even a design error that may result in a significant loss of power output. Figure 1 shows the damage caused during installation by a 5 x 5 cm piece of tile, which cannot be noticed by the naked eye. This damage deteriorates the solar cell efficiency and can lead to further degradation, which may even result in the loss of energy generation by the entire solar cell string. After the identification and elimination of installation errors, as times passes, some small or large surface contaminations appear on the photovoltaic (PV) elements during operation. The rate and extent of emerging contaminations depends on several environmental parameters and on the installation angle. It is obvious that solar panel manufacturers place great emphasis on ensuring such surface designs that – when exposed to rain effects – guarantee that the dust layer will be washed away as a self-cleaning function. However, this self-cleaning function is not sufficiently efficient in case of stronger contaminations like bird droppings or soot deposition from burning wood or coal fuels in a suburban environment. Furthermore, this self-cleaning function does not work in case of installation inclination angles below 25° due to low rainfall run-off rate. In such cases, occasional or even regular cleaning of solar cells may become necessary to assure and maintain their continuous maximum energy performance [14]. Failure to perform cleaning of the solar cell surface can result in the reduction of performance characteristics of up to 6%. The inspection of solar cells should be carried out with the pre-determined frequency in order to ensure continuous trouble-free operation, to identify failed elements, to determine the need for cleaning based on the inspection result or to reveal the corrosion process. Performance of inspections and maintenance activities is a time-consuming and cost-intensive process – due to the specifics of installation and location of solar panels, which are typically installed on roofs in urban environments. A ladder or a basket lift truck is required to perform the inspection, which increases costs. There may also be hard-to-reach locations making the performance of this task almost impossible or extremely expensive. As the number of installed solar cells increases, more and more companies are providing all-in-one solutions throughout the entire life cycle. In order to achieve efficient operation and low maintenance costs, many service providers perform inspections with the use of drones, offering many advantages in comparison with traditional procedures. By means of placing thermal cameras on unmanned aerial vehicles and further development of artificial intelligence-based

temperature measurement technology, UAVs offer infinite possibilities both in industry and in healthcare applications, as one can read in "Légből kapott segítség a Covid-19 ellen" [Help Received from the Air against Covid-19] by Béla Kiss and Gábor Major [15].

As of today, there are already examples of how water required for the cleaning of solar cells can be supplied to the upper surface of solar cells with the help of a sprinkler head attached to the drone. What has not been mentioned so far is that most of the pre-order field surveys are carried out with the help of drones equipped with a video camera.

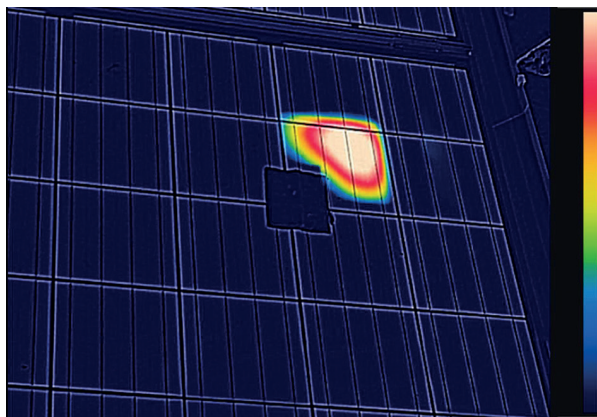


Figure 1

Thermal camera image showing a solar cell damaged during installation [24]

4.2 Air transportation

Several directions for development appeared in the field of personal aviation in the 20th century. The first mentionable flight was executed with the use of different types of jetpack airplanes (rocket pack, rocket belt) developed in the 1960s; another direction for development emerged later on in the 1990s, as a result of great technical achievements, and laid down the basics for the Aeromobil concept. In practice, it is nothing else than a flying car appearing from the combination of auto and airplane technologies. Technically, both aircraft types are pilot-driven and powered by the energy source other than renewable energy, so they cannot be considered drone technology but can still be considered a forerunner of passenger drones [16]. The first passenger drone named EHang 184 – being a major breakthrough in this field – was shown in 2016 at the Consumer Electronics Show (CES) by the Chinese-based EHang company [17]. Designers of passenger aircrafts have to face major challenges such as noise reduction, increased payload, increasing short flight times, harmonisation of airspace rules, aeronautics and drone traffic. Successful implementation of innovative developments could result in the rapid and extensive use of civil drones in the air transport of large cities. Seoul can boast with the first test flight of the drone taxi carried out in the urban environment. The testing process was completed with the acquisition of a Special Certificate of Airworthiness (SAC) issued by MOLIT for an autonomous aerial vehicle (AAV) class. The above step is likely to have paved

the way for South Korea to launch the market of Urban Air Mobility (UAM) services in the short term. In such a way, the manufacturers of AAV contribute to the rapid infrastructural development of smart cities. In the recent past, United Airlines parked huge investments in a start-up company focusing on the development of electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircrafts. Should this project progress according to the schedule, these air taxis will be available to transport passengers between the airport and city centre as early as in 2024 [18]. An air taxi can transport passengers, luggage and medicines above the congested highways in a fast and environmentally friendly way, yet the importance of human safety oversight is unquestionable in the beginning. Owing to the development of autonomous and artificial intelligence, within a few years, the "transport robot" will be able to perform its pre-programmed flight activities on its own. However, a reasonable question may arise at this point, asking what should be the boundary for the autonomy of aerial means? [19] [20]

5. Use of drones for public service purposes

The use of a drone implementing a smart city function can be considered the use for public service purposes if such a use assists or substitutes the work performed by an individual involved in the execution of public functions. In accordance with the Hungarian Act CXCV of 2011 on public finance: A public function is a state or local government task defined by the legislation. Pursuant to Section 459 (12) of the Criminal Code of Hungary, persons entrusted with public functions shall mean the following occupations:

- policemen
- civil guards
- ambulance workers
- members of fire brigades
- healthcare employees
- postal service personnel

The above listing does not include all public functions specified by the Act; it refers only to those aimed at performing state tasks relevant in terms of the urban environment. In addition to the above, one should also mention some other public tasks assigned to the scope and competence of local municipalities, such as urban management and refuse disposal services. Most important and best-known municipal public tasks to be fulfilled by the local municipalities are operation of parking lots, supervision of public areas, cleaning of public roads and refuse disposal.

5.1 Support of police actions

There are more and more cases when police activities may require the audio-visual recording of implemented actions, providing additional information for subsequent procedural activities. There is a chance that the person affected by the police action may file a complaint regarding police misconduct or may even commit an act of violence against the official acting in the course of official actions. In both cases, the availability of a recording can simplify and clarify

the situation. For this purpose, several countries use body-worn cameras providing certain additional information but having significant limitations compared to a drone-mounted camera. The disadvantage of body cameras is that there is no possibility for real-time streaming at the police department; the camera may fall down in case of a scuffle and only a narrow-angle shot will be taken due to the camera position. In contrast with the above, aerial footage recorded by the drone captures the entire action and the drone can be continuously directed to the most appropriate position from the control centre. Real-time connection can be established with the control centre and responding police officer [21]. In addition to law enforcement tasks, drones can also be used during the activities related to crime prevention, detection and arrest.

5.2 Support for civil guard associations

By means of an example of several civil guard activities, it can be stated that they can be efficiently supported in the performance of their duties by the use of drones equipped with audio-visual media. In case of settlements where local municipalities operate space surveillance systems with the involvement of civil guards, it is possible to make systems made up of static cameras dynamic by using a civil guard drone. Safety and security systems used for event management and supplemented with drones can also be of great help in organising and supervising the events.

5.3 Support of fire department actions

The history of organised firefighting dates back hundreds of years; however, there is still a chance that some special situations would occur in the city that pose great challenges to firefighters. One of such typical problematic situations is the fire in high-rise buildings in large cities. Needless to say, that high-rise buildings and skyscrapers are equipped with active and passive fire protection systems; however, these are less effective in case of façade fires. Firefighters arriving at the fire location have to cope with several obstacles. First and foremost, by the moment of the fire brigade's arrival to the scene, the size of fire may become difficult or impossible to control [22]. The extinguishability of façade fires propagating to upper floors is determined by the maximum height of fire service ladders, which is often limited to one side of the building. The Ehang 216F firefighting drone has been developed specially for extinguishing fires in high-rise buildings; with a maximum flight attitude of 600 metres, the 216F can carry up to 6 firefighting bombs and 150 litres of firefighting foam. The drone guarantees the possibility of rapid deployment at the fire location and fire-extinguishing at high altitudes; it can also be used for first response even before the firefighters arrive, significantly reducing the risk of urban fires.

5.4 Support of ambulance services

Ambulance services are constantly running the race against time during their everyday activities. During the period of time between the emergency call and arrival at destination,

the control centre can provide instructions to the caller who can potentially increase the chances of survival of the person in need of help; however, it is highly dependent on the stress resistance and action skills of the administrator. By implementing the Ambulance Drone prototype designed by Alec Momont into regular emergency patient care, the chances of survival in case of an out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) can be increased from 8% to 80%. This drastic difference is due to the magnitude of the response time. Time required to arrive at the scene of emergency may require up to 10 minutes in an urban environment, which is considered a fast response time; however, in case of accidents coupled with cardiac arrest certain neurological consequences may occur typically 4–6 minutes after the event. In this case, if the emergency care is supplemented with the Ambulance Drone, the required help can arrive within 1 minute at any point within a 2-kilometre radius. Owing to the two-way video connection and communication, ambulance personnel guide and control the use of the automated external defibrillator (AED). The successful use of a defibrillator by laymen is only 20% but with the application of Ambulance Drone communication technology, this figure can be increased to 90%. By means of designing a compact UAV network, it is possible to expand the entire emergency infrastructure of the city, as a result of which the efficiency of saving the lives of residents will be significantly increased [23]. Application of UAVs and AAVs is also possible at the subsequent phase of emergency care, during the transportation from the accident scene to the hospital. To be more specific, the Ambular Project led by volunteers is seeking for potential possibilities hidden in eVTOL technologies aimed at rapid transportation of individuals facing medical emergencies. Last year, the Ehang company joined the project, which means an important milestone in the development of this technology as the aviation authorities of several countries have already issued a test flight permit for the taxi. Furthermore, Ehang 216 was used several times to transport medical equipment and personnel to hospital during the management of the Covid situation in China.

6. Summary

The integration of drone and ICT technologies in terms of smart cities is getting more and more important and increases the efficiency of built-in services. This paper focused on the description of such areas of drone application that have functions increasing the sense of security in smart cities and provide effective solutions for the performance of operational tasks arising from the application of these technologies. Application areas have been presented with the focus on user groups, with the aim of inspiring the population, city management and commercial sector to learn more about this hidden potential. It should be noted that a wide spectrum of applications and possibilities has been presented in the paper, including already existing drone applications, prototypes and devices that have successfully performed test flights, which can predict the development directions for the cities of tomorrow. To meet drone taxis, air ambulances, or even an automatic maintenance drone in the everyday lives of smart cities, rapid and large-scale development is needed in many other areas, as well. The issue concerning the integration of drones into the air traffic should also be addressed. Service systems network should be developed and elaboration of drone-related regulatory basis supporting the sustainable development should be carried out. Full implementation of

all conditions will result in happier citizens, more efficient urban management, prosperous businesses and a liveable environment.

References

- [1] A. M. Townsend, 'Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia', 2013. Online: https://books.google.hu/books?hl=hu&lr=&id=PSsGAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Smart+Cities:+big+data,+civic+hackers,+and+the+quest+for+a+new+utopia&ots=xbru0zblHu&sig=tIF7vN4asStZQ1LBOUrpviNx8Tc&redir_esc=y#v=onepage&q=Smart%20Cities%3A%20big%20data%2C%20civic%20hackers%2C%20and%20the%20quest%20for%20a%20new%20utopia&f=false
- [2] D. Evans, 'The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything'. *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, April 2011. Online: www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- [3] BSI Standards Publication, Smart Cities – Vocabulary. The British Standards Institution, 2014. Online: www.bsigroup.com/en-GB/smart-cities/Smart-Cities-Standards-and-Publication/
- [4] T. Ishida, 'Digital City Kyoto: Social Information Infrastructure for Everyday Life'. *Communications of the ACM*, 12 September 2000.
- [5] A. Aurigi, 'Competing Urban Visions and the Shaping of the Digital City'. *Knowledge and Policy*, Vol. 18, no 1. 2005. Online: <https://doi.org/10.1007/s12130-005-1013-z>
- [6] L. Batagan, 'Smart Cities and Sustainability Models'. *Informatica Economica*, Vol. 15, no 3. 2011.
- [7] J. Downey and J. McGuigan eds, *Technocities*. London: SAGE, 1999. Online: <https://doi.org/10.4135/9781446279991>
- [8] J. Rab and S. Szemerey, *Az okos város fejlesztési modell módszertani alapjai*. Lechner Tudásközpont, 2018. Online: http://okosvaros.lechnerkozpont.hu/sites/default/files/2018-10/az-okos-varos-fejlesztési-modell-modszertani-alapjai_online.pdf
- [9] L. Jakab, Gy. Sallai and K. Kovács, 'A smart city megoldások technológiai háttere és fenntartható komplex modellje' [The Technological Background and Sustainable Complex Model of Smart City Solutions]. *Magyar Tudomány*, no 8. 2017. Online: <https://doi.org/10.1556/2065.179.2018.9.4>
- [10] G. Major, 'Does an Autonomous Drone Return Home at all Time?' *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 30, no 2. pp. 275–284. 2018.
- [11] S. G. Dobi, K. Horváth and D. Rohács, 'Drónok piacához köthető üzleti felhasználási lehetőségek áttekintése a szegmens aktualitásainak tükrében' [Drone and UTM Market Forecast and Business Potential Overview]. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 31, no 1. pp. 33–52. p. 37. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.4>
- [12] I. Szalkai, 'Drónok alkalmazásának lehetőségei a napelem erőművek ellenőrzésében'. *Védelem Tudomány*, Vol. 6, no 1. 2021. Online: www.vedelemtudomany.hu/articles/VI/1/2021-06-01-06-szalkai.pdf
- [13] G. Major, 'Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal?' [Reasonable Regulation or Prohibition: What Can We Do with the Unmanned Aerial Vehicles?] *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 27, no 1. pp. 167–176. p. 169. 2015.

- [14] M. K. Smith, C. C. Wamser, K. E. James, S. Moody and T. N. Rosenstiel, 'Effects of Natural and Manual Cleaning on Photovoltaic Output'. *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 135, no 3. 2013. Online: <https://doi.org/10.1115/1.4023927>
- [15] B. Kiss and G. Major, 'Légből kapott segítség a Covid-19 ellen' [Help Received from the Air against Covid-19]. *Repüléstudományi Szemelvények*, p. 15. 2021. Under publication.
- [16] Th. Priestley, 'Flying Cars, JetPacks, And Passenger Drones – Which One Will Rule The Skies?' *Forbes*, 11 January 2016. Online: www.forbes.com/sites/theopriestley/2016/01/11/flying-cars-jet-packs-and-passenger-drones-which-one-will-rule-the-skies/?sh=b-12363675c8e#4b0b6782
- [17] B. Gruber, 'World's first passenger drone unveiled at CES'. *Reuters*, 08 January 2016. Online: www.reuters.com/article/us-ces-passenger-drone-idUSKBN0UMOGW20160108
- [18] Ph. Le Beau, 'United Airlines orders electric vertical aircraft, invests in urban air mobility SPAC'. *CNBC*, 10 February 2021. Online: www.cnbc.com/2021/02/10/united-airlines-orders-electric-vertical-aircraft-invests-in-urban-air-mobility-spac.html
- [19] A. Csóré and G. Major, 'A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója' [Evolution of Unmanned Aircraft (UAV)]. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 33, no 1. pp. 171–191. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.113>
- [20] G. Major, 'Etikus-e a drónok használata?' *Honvédségi Szemle*, Vol. 144, no 2. pp. 100–106. p. 106. 2016.
- [21] T. Kovács and A. M. Viplak, 'Drónok a biztonságtechnikában' [Drones in Security Technology]. *Hadmérnök*, Vol. 12, no 2. pp. 7–13. 2017.
- [22] Gáspárné Parlagi, 'A londoni homlokzattűz tanulságai a tűzvédelmi anyagvizsgáló szemével'. *Védelem Katasztrófavédelmi Szemle*, no 5. pp. 9–12. p. 9. 2017.
- [23] A. Momont, 'Ambulance Drone'. Technical report, Delft University of Technology, 2014. Online: www.tudelft.nl/en/ide/research/research-labs/applied-labs/ambulance-drone/
- [24] https://static.wixstatic.com/media/d375a5_0a2e3bbbad894d829ccb91a30a762c06~mv2.png/v1/fill/w_980,h_507,al_c,q_90,usm_0.66_1.00_0.01/d375a5_0a2e3bbbad894d829ccb91a30a762c06~mv2.webp

Drónok az okosvárosokban

Az (IKT) infokommunikációs technológiák rohamos fejlődése hazánkban az okosvárosok kialakulásának is óriási teret biztosít az elkövetkező években. Hasonló vagy akár még nagyobb léptékű fejlődés tapasztalható a pilóta nélküli légi járművek piacán. Az utóbbi években a pilóta nélküli légi járművek (Unmanned Aerial Vehicles, UAV), a köznyelvben használatos nevén a drónok, a kormányzati, illetve ipari felhasználáson túl rohamos elterjedést mutat a lakossági szférában is. A drónok több mint 1700 típusából válogatva, szinte bármelyik webáruházban beszerezhető. A típusok sokaságából egyenesen következik az eszköz sokrétű felhasználhatósága a mezőgazdasági ágazattól a biztonságtechnikán keresztül a piaci/polgári szolgáltatásokig. Kicsit eltávolodva az eszközdimenziótól és átlépvé a rendszerek dimenziójába, a funkciókat megvalósító berendezések integrációjával költséghatékony, fenntartható és magas kényelmi szintet biztosító komplex rendszerek valósíthatók meg. A két innovatív fejlesztési terület egymásba ágyazódása hatványozza a technológiák alkalmazhatóságát és felhasználhatóságát a mindennapokban.

A cikkben bemutatok a drónok és az okosváros-technológiák integrációjából adódó néhány alkalmazási lehetőséget a teljesség igénye nélkül, fókuszálva a biztonsági szerepekre, illetve az okosvárosok üzemeltetéséből származó új feladatokra.

Kulcsszavak: UAV, IKT, okosváros, UAM, jövő városai, AAV

Jurás Zsolt (MSc) doktori hallgató Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola zsoltjuras@gmail.com orcid.org/0000-0003-4670-9325	Zsolt Jurás (MSc) PhD student Óbuda University Doctoral School on Safety and Security Sciences zsoltjuras@gmail.com orcid.org/0000-0003-4670-9325
---	---



Rémai Dániel

A légi uralom elméletének hatása az Izraeli Légierő kialakulására és fejlődésére

A 20. századot talán nem túlzás a repülés évszázadának nevezni. A technikai fejlődés hatása a modern hadviselés kapcsán is elvitathatatlan. A légi uralom elméletének megalapozója, Giulio Douhet elgondolásai napjainkban is megjelennek a nemzeti légierők szervezése, működtetése során. Az cikkben arra teszek kísérletet, hogy a Douhet-féle alapelvek mentén a kezdetektől napjainkig megvizsgáljam az Izraeli Légierő fejlődéstörténetét, beazonosítsam azokat a jelenségeket, amelyek hasonlóságot mutatnak a légi uralom elméletének valamely elemével. Tekintettel az izraeli biztonsági környezet speciális jellegére, látni fogjuk, hogy ezek vegytisztán szinte egyik történelmi időszakban sem sejlenek fel. Ugyanakkor a modern Izraeli Légierő működése – a kihívásokra és fenyegetésekre való reagálás érdekében – összességében egyesíti magában a légierő eszmerendszerének minden fontos és hasznos elemét.

Kulcsszavak: Douhet, fenyegetettségalapú haderőszervezés, Izrael, Közel-Kelet, Izraeli Légierő, légiuralom-elmélet

„Izraelben, annak érdekében, hogy realista maradj, hinned kell a csodákban.”
Ben-Gurion [1]

1. Problémafelvetés

Az emberiség történelmét végigkísérte a vágy, hogy felfedezze az ismeretlent. A folyamat egyik utolsó lépése volt a levegő meghódítása. A történelemben számtalan sikertelen kísérletet találunk, amikor az ember megpróbálta meghódítani az eget. A próbálkozások végül sikerrel zárultak, és talán nem túlzás a 20. századot a repülés évszázadának nevezni, hiszen alig pár év telt el onnantól, hogy a Wright-fivérek repülőgépe, az amerikai egyesült államokbeli Kitty Hawk-ban pár másodpercre a levegőbe emelkedett addig, hogy elméleti teoretikusok a hadviselés kiemelt kérdéseként taglalták a repülés helyét és szerepét a jövő háborúiban [2]. Történelmi léptékkal mérve pillanatokon belül sor került a világ első, repülőgépekkel végrehajtott bombázására¹ a spanyol polgárháború alatt Guernica városa ellen, a II. világháború nagy légi

¹ Megjegyzendő, hogy az I. világháború alatt már sor került az első, jelentős stratégiai bombázásra, amely során a brit Royal Naval Air Service zeppelineket vetett be Köln és Düsseldorf bombázására.

csatáira, a 20. század második felét alapjaiban meghatározó rakétatechnológia fejlődésére, vagy azokra a modern konfliktusokra, amelyekben a légierőnek kiemelt szerep jutott² [3].

Az innovációk, az új gondolatok és gyakorlatok megjelenése, valamint azok alkalmazása a hadviselés területén is kiemelt fontosságú, hiszen stratégiai előnyhöz juttathatja felhasználóját. Az I. világháború során a szárazföldi hadviselés technológiai eszközei korábban nem látott fejlődésen mentek keresztül, mégsem sikerült az állóháborús helyzetet megtörniük. Éppen ezért nem meglepő, hogy az I. világháború tapasztalatai alapján a hadtudományi teoretikusok egy részének a figyelme új területek, például a repülés felé fordult, és az abban rejlő lehetőségek feltérképezésére irányult. A 20. század történelmi eseményei nem tették lehetővé a hosszas elméleti tervezgetést, így sok esetben az elméletek a gyakorlatban váltak kipróbálhatóvá, valós konfliktusok során igazolódtak be vagy cáfolódtak meg.

Max Weber úgy fogalmazott 1917-ben, hogy: „Korunk sorsát a racionalizáció és az intellektualizáció jellemzi, és mindenekelőtt a világ kiábrándulása” [4]. A racionalizáló gondolkodásmód, a hirtelen lezajló történelmi események, valamint a kiábrándulás különös egyvelege jól jellemezte ebben az időszakban a Palesztin Mandátum területét. Az arab és a zsidó népesség közötti konfliktus – nem beszélve a brit fennhatósággal szembeni ellenérzésekről – már az 1900-as évek eleje óta jelen volt a térségben; mértéke folyamatosan növekedett, ami konkrét fegyveres összecsapásokhoz vezetett. Ebben a kiélezett biztonsági környezetben a Palesztin Mandátum területén élő zsidó népesség, túllépve a mottóban említett Ben-Gurion³ idézetén, nem csak hitt a csodákban, de komoly erőfeszítéseket tett annak érdekében, hogy valóra váltsa azokat, és megalapozza egy működő állam szervezetrendszerének minden szükséges elemét. Mire 1948. május 14-én Ben-Gurion kikiáltotta az önálló zsidó állam létrejöttét, borítékolható volt, hogy a nemzetközi közösség minden erőfeszítése ellenére nyílt, fegyveres konfliktus fog eszkalálódni a frissen alakult Izrael Állam és a környező arab országok között. Az Izraeli Védelmi Erők (IDF) elődszervezeteinek, a különböző irreguláris fegyveres szervezeteknek 1948 májusában már egységes reguláris erőként kellett volna fellépnie az arab invázió ellen, amihez alapvetően egy gyors és effektív katonalogisztikai művelet megszervezésére és levezénylésére volt szükség. A következő évtizedekben pedig ennek a szervezetnek kellett garantálnia az állam és lakói biztonságát a fenyegetések és kihívások változó rendszerében.

Dolgozatomban, a légi uralom elméleti alapjainak áttekintése után, arra a kérdésre keresem a választ, hogy a Douhet nevével fémjelzett elméleti elgondolások milyen módon érvényesültek az Izraeli Légierő (IAF) létrejöttkor és kezdeti éveiben. Valamint röviden át kívánom tekinteni azokat a kihívásokat, amelyek napjainkig meghatározták az IAF működését, fejlődését és ezek viszonyát a légi uralom „klasszikus” elméletéhez.

2. A légi uralom elméletének főbb elemei

A háború végigkíséri az emberi civilizáció történelmét [5], ugyanakkor a konfliktusok formája, lezajlása és intenzitása történelmi koronként eltérő lehet. Részben a civilizáció fejlődése, részben a napóleoni háborúk hatására a 19. századra elérkeztünk azon háborúk korszakába,

² A teljesség igénye nélkül említhetjük a vietnámi háborút, a hatnapos háborút vagy az első öbölháborút.

³ David Ben-Gurion (1886–1973) izraeli államférfi, a Palesztin Mandátum területén élő zsidó közösség egyik politikai vezetője, a modern Izrael Állam első miniszterelnöke (1948–1954 és 1955–1963 között).

amelyek az államok teljes erőforrásait és népességét bevonva zajlottak le [6]. A megváltozott hadviselési formák vizsgálata és elemzése területén a Clausewitz által lefektetett alapelvek és elgondolások mai napig meghatározóak, és számos esetben sebészi pontossággal írják le a modern kori háborús konfliktusokat is. De hiába volt a hadtudomány fejlődésének egyik legtermékenyebb évszázada a 19. század, a világ így sem tudott felkészülni az I. világháború pusztítására. Az embervesztés, a gazdasági, politikai és társadalmi következmények okán várható volt egy, soron következő, hasonló nagyságrendű fegyveres konfliktus kibontakozása. Mi sem mutatja ezt plasztikusabban, mint Ferdinand Foch francia marsall sokat idézett mondata: „Ez nem béke, csak fegyverszünet 20 évre” [7]. Ebben a helyzetben a hadművészet teoretikusai számára a fő kérdés az volt, hogy miként lehet a nemzeti haderőket felkészíteni egy újabb konfliktusra, elkerülendő az I. világháború statikus jellegét és az ezzel járó emberáldozatokat. Mivel a 20. század első felének technikai fejlődése számos területen hozott innovációkat, így jó néhány olyan elmélet és elgondolás született, amely egy-egy új terület szerepét próbálta kiemelni.⁴

A statikus háború elmozdítására kiváló alternatívának tűnt – az I. világháború alatt már felderítő, megfigyelő és hátszázgvédelmi szerepben részt vevő – légi egységek alkalmazása, amelyek a hagyományos hadviselés alternatíváját kínálták. Éppen ezért nem meglepő, hogy Douhet⁵-ra alapozva többen⁶ is vizsgálták a légi hadviselésben rejlő lehetőségeket.

Douhet három fő műben foglalta össze elméleteit és részletes következtetéseit.⁷ Jelen tanulmány keretei között nincs lehetőség mélységében áttekinteni Douhet munkásságát, de összességében elmondható, hogy az önálló, más haderőnemektől független légierő mellett érvelt; vizsgálta egy ilyen haderőnem felállításának és megszervezésének kérdéseit; részletesen foglalkozott a jövő háborúinak kiemelt elméleti és gyakorlati kérdéseivel is, olyan részletes-séggel, mint például a célpontok kiválasztása vagy a légi csaták elmélete.

A Douhet-féle légiuralom-elmélet alapja, hogy a gyors győzelem kivívható az ellenség létfontosságú központjaira mért korai légi támadásokkal, míg a szárazföldi erők feladata, hogy az ellenséget a földön visszatartsák [8]. Ebből a szempontból a légierő offenzív, míg a többi haderőnem defenzív szerepet tölt be, mivel a bombázók átjutnak az ellenséges védvonalak fölött, amelyre – az alapvetően defenzív jellegű – szárazföldi erők nem feltétlen képesek. Részletesebben és pontosabban:

„A szárazföldi és haditengerészeti erők rovására kifejlesztett, a légi uralom kivívására képes önálló »légicirkáló« flottával végrehajtott korlátlan légi háború, amelyben a tömeges légicsapások az ellenséges légierő földi alapjain való megsemmisítésére, a harcoló hadseregek hátszázagtól való elvágására, a közigazgatási, ipari és kommunális gócpontok dezorganizálására, a polgári lakosság megfélemlítésére irányulnak. Így módon a légierő önállóan, rövid idő alatt térdre kényszerítheti az ellenséget” [9].

⁴ Például Fuller, Liddell Hart és Guderian elméletei a páncélosok és a gépesített csapatok szerepéről.

⁵ Giulio Douhet (1869–1930) olasz katonatiszt. Az I. világháború során az olasz légierővel kapcsolatos tervezett fejlesztési irányok nem illeszkedtek elképzeléseibe, valamint nem értett egyet a hadvezetési módszerekkel, így kritikát fogalmazott meg, amelynek hatására egy év börtönbüntetésre ítélték. 1918-tól rövid ideig az olasz légierő parancsnoka, majd nyugdíjazását követően 1922 után a légiflotta parancsnokaként szolgált 1923-as újbóli nyugdíjba vonulásáig. A „légi uralom” elméletének megalapozója.

⁶ Például Hugh Trenchard, William „Billy” Mitchell, Sir John C. Slessor, Alexander P. de Seversky és H. R. Harris.

⁷ Főbb művei: *Légi uralom* (1921), *Légi háború* (1927), *Az 19... évi háború* (1929).

Elméletét részben arra alapozta, hogy a jövő háborúi totális háborúk lesznek, így a polgári lakosság moráljának megtörése alapvető fontosságú kérdés lesz ezekben a konfliktusokban. Kortársaitól megkülönböztette, hogy a polgári lakosság ellen is javasolta bevetni a légi harcászati eszközöket. Úgy vélte, hogy a stratégiai bombázások által megtörhető a polgári lakosság morálja és „a társadalmi struktúrák felbomlanak a levegőből érkező könyörtelen csapások alatt. Hamarosan eljön az idő, amikor a nép felkel, hogy véget vessen szenvedéseinek és a háború befejezését követelje” [10]. Elképzelése szerint a légi uralom megnyerése, majd civil célpontok elleni felhasználása összességében csökkentené a háborús szenvedés, a károk és az áldozatok mértékét [8]. Más teoretikusoknál is megjelent a lakosság és a létfontosságú létesítmények elleni támadások kérdése [11],⁸ mégis ez volt az a pont, amely miatt halála után többen kritizálták Douhet elméletét [12], [13].

Douhet szerint elegendő egyfajta repülőgép hadrendbe állítása, ami nem más, mint a harci repülőgép: közepes sebességű, nagy hatótávolságú és az önvédelem érdekében erősen páncélozott eszköz [14]. „A »légierőszerű« bombázó repülőgépek tömeges alkalmazásának az eredményeként, a szárazföldi és haditengerészeti erők biztosító, kiszolgáló tevékenysége mellett, a háborús győzelem »csak a levegőből« vívható ki” [11].

Összességében „Douhet a rohamosan fejlődő repüléstechnikát állította reflektorfénybe, s benne látta az I. világháborús állásharc zsákcájából való kijutást, a jövőbeni gyors győzelem eszközt” [9]. Azonban az 1920-as évektől kezdődően alapvetően az együttműködő légierő koncepciója és gyakorlata vált elterjedtté, amely szerint „a szárazföldi erők alárendeltségében tevékenykedő repülőcsapatok fő feladata a támadó, mozgásban lévő gépesített csapatok közvetlen légi támogatása volt” [11]. A légi támogatás a mai napig meghatározó feladat, amelynek központi eleme a folyamatos koordináció [15], és kiemelt szerepe van a modernkori harcászati formákban, amelyek az egyidejű, ötdimenziós, koncentrált csapásokra építenek [16].

Annak ellenére, hogy Douhet koncepciója kezdetben nem feltétlen érvényesült minden elemében, több követője is akadt, különösen Nagy-Britanniában és az Egyesült Államokban. Hugh Trenchard⁹ szerint a győzelem az ellenség létfontosságú központjainak bombázásával lenne elérhető [17], míg William „Billy” Mitchell¹⁰ az önálló légierő fontossága mellett érvelt [18].

A légi uralom elméletének ismertetése során igyekeztem azokra az elemekre és pillérekre koncentrálni, amelyek relevánsak lehetnek a továbbiakban, az Izraeli Légierő egyes korszakainak vizsgálatakor.

3. Izrael Állam helyzete és a biztonsági környezet változása

Nemcsak Izrael, hanem a közel-keleti régió államai és egymáshoz való viszonyuk is különleges. Oszetzký Tamás közel 40 évvel ezelőtti szavai napjainkban is jól illusztrálják a régió bonyolultságát:

„A kép valóban összetett. Vannak vallási különbségek, sőt ütközések, az egyes hiteken belül pedig irányzatok és szekták sokasága csatázik egymással, nemegyszer fegyverek igénybevételével.

⁸ Vö. Trenchard és Mitchell elmélete.

⁹ Hugh Trenchard (1873–1956) angol katonatiszt.

¹⁰ William „Billy” Mitchell (1879–1936) amerikai katonatiszt.

Adódnak elmérgesedett nemzeti ellentétek Izrael és az arab országok között, de gyakoriak a törésvonalak az arab államok táborán belül is. Elválasztja a Közel-Kelet országait a társadalmi fejlődés választott útja – ebben a vonatkozásban nemcsak a »tisztta« képletek jelentkeznek, hanem sok-sok átmeneti formáció, árnyalat létezik" [19].

Ebben a bonyolult rendszerben jött létre 1948. május 14-én Izrael Állam, ahol a permanens fenyegetettség és a biztonság iránti vágy az a fő rendszerező elv, amely napjainkig meghatározza az izraeli társadalmat, politikát és a védelmi tervezést. „Bármely társadalom alapvető szükséglete a biztonság, bár annak értelmezése és felfogása történelmi koronként változik" [20]. Mit is jelentett a biztonság a 20. század folyamán a Palesztin Mandátum területén élő zsidó közösség, majd Izrael Állam lakói számára?

Az 1880-as évektől végigvezethető az okok, valamint reakciók egymásba kapcsolódó és egymással összefüggő hálózata, öngerjesztő folyamata. A kezdeti, demográfiai változásokra adott reakciók fokozatosan vezettek el az Izraeli Védelmi Erők elődszervezeteinek nevezett félkatonai szervezetek¹¹ megalakulásához és fejlődéséhez [21]. A változások és a feszültség növekedése újabb reakciók és ezáltal újabb kihívások alapjai lettek. A kihívások és fenyegetettségek e bonyolult és folyamatosan alakuló spirálja indukálta, hogy a modern Izraelben a mai napig a fő rendezőelv között találjuk a permanens fenyegetettség érzését és a biztonság iránti vágyat. Izraeli szemszögből az 1900 és 1948 közötti időszakot a zsidó telepek védelme és az önálló Izraelért folytatott harc határozta meg. Az 1950 és 1990 közötti időszakban az állami szintű háborús fenyegetettség volt a jellemző, majd az 1990-es évek elejétől egyre inkább az állami szint alatti fenyegetettségek és kihívások váltak meghatározókká.¹² Napjainkban ez a tendencia némileg megváltozott az iráni politika radikalizálódásával és az iráni atomprogram fejlődésével, így inkább azt mondhatjuk, hogy egyszerre jelennek meg hagyományos és aszimmetrikus kihívások, amelyek hatással vannak az izraeli védelmi tervezésre.

4. Az Izraeli Légierő

4.1. A kezdetek

Efraim Kishon magyar származású izraeli humorista és író úgy fogalmazott, hogy: „Izrael egy olyan ország, amely túlságosan keskeny ahhoz, hogy a világtérképen elég hely legyen nevének kiírására" [22]. Az elsőre viccesnek ható mondat az egyik legfontosabb izraeli katonai biztonsági problémát fogalmazza meg: a stratégiai mélység hiányát. Ez a tényező alapjaiban határozza meg a mai napig az izraeli haderőszervezést [23].

Az IDF alapját képező félkatonai elődszervezetek jelentős szárazföldi tapasztalatokkal rendelkeztek, sőt az Aliyah-Bet¹³ műveletek okán némi haditengerészeti tapasztalat is

¹¹ Például a Hashomer, a Hagana, a Palmach, az Irgun vagy a Lehi.

¹² Az 1990-es években elindult közel-keleti rendezési és békefolyamatok bizonyos mértékben előrevetítették a hagyományos háborúk esélyének csökkenését a térségben, azonban a Hezbollah és a Hamász megerősödése, valamint már az első (1987–1993), de leginkább a második intifáda (2000–2005) eseményei rávilágítottak arra, hogy a háború hagyományos formája helyett más típusú kihívásokra kell az izraeli biztonsági szektornak koncentrálnia.

¹³ Az 1934 és 1948 között végzett titkos akciók jelölése, amelyek a Palesztin Mandátum területére történő illegális migrációt jelölték.

rendelkezésre állt. Ugyanakkor a létrejövő IDF esetében a haderőnemek közül a légierő volt az, amely a legkevesebb történelmi hagyománnyal és tapasztalattal rendelkezett. Az Irgun¹⁴ 1937-től szervezett tagjainak pilótaképzést Csehszlovákiában és Lengyelországban, illetve a Hagana is rendelkezett 1940-től egy úgynevezett repülőszárnyal,¹⁵ amely a későbbi IAF elődszervezetének tekinthető.

1948-ban Izrael Állam Csehszlovákiából vásárolt 25 db Avia S-199-es és 62 db Supermarine Spitfire LF Mk IX típusú repülőgépet. Ezek a gépek a kor viszonyaihoz képest alacsony felszereltséggel rendelkeztek. A függetlenségi háború második szakaszában a légierő által elért sikerek inkább a bevándorló veterán pilóták és az Irgun által kiképzett pilóták bátorságából és kezdeményezőkézségéből voltak eredeztethetők [24].

Az első arab–izraeli háborúban így a légierő szerepe viszonylag elenyésző volt, de ennek inkább technikai, semmint koncepcionális okai voltak.

„A légierőnek nagyobb szerepet szántak [a következő konfliktusban], mint az előző háborúban, azonban ehhez meg kellett teremteni a személyi és anyagi feltételeket. Ennek során számos országba repülőgép-vezetőket küldtek kiképzésre, korszerű repülőgépeket szereztek be, a hadszíntér előkészítési munka során repülőtereket létesítettek. Ugyanakkor azonban valójában azt is megállapították, hogy Izrael anyagi lehetőségei nem teszik lehetővé olyan minőségű és mennyiségű légierő fenntartását, amely [...] alapvető szerepet játszhatna a háborúban” [19].

A háború befejezése után az Izraeli Légierő angol és amerikai gépek beszerzésébe kezdett. A légierő koncepciója a Douhet-nál látott elvekre épült: elérni és fenntartani a totális légi fölényt az izraeli légtérben [25]. Yigal Jadin¹⁶ vezérkari főnök kezdeti koncepciója alapján – főleg finanszírozási okokból – a légierőn belül a stratégiai bombázók és szállítógépek szerepét akarták megerősíteni [26], de a térség viszonyainak és biztonsági kihívásainak újraértékelése, valamint az 1953 utáni, Moshe Dayan¹⁷ nevével fémjelzett katonai vezetéseképzelés a kicsi, gyors, támadó harci gépek szerepének erősödését hozta magával.

Az 1950-es években a megfigyelésben és a terület ellenőrzésében egyre nagyobb szerepet kapott a légierő. Az IAF alakulatai a szárazföldi parancsnokságok mellé voltak rendelve területi szinten, de egyre inkább megerősödött a légierő önálló alkalmazása is. A központi támaszpontot Izrael Állam földrajzi középpontjához közel rendezték be, ahonnan az állam területének bármely pontja gyorsan elérhető volt. A fenyegetettség változása és a technológiai fejlődése ellenére a mai napig a Beér-Seva melletti Ovda légi bázis a légierő hivatalos központi állomáshelye, de az 1950-es évek elejétől megindult az egyes területi parancsnokságok mellett működő légi alakulatok számára lokális repterek kiépítése is.

¹⁴ A Ze'ev Jabotinsky által alapított szervezet célja az alapítástól kezdődően a független zsidó állam létrehozása volt. Az Irgun (angolul *The National Military Organization in the Land of Israel*) módszereiben és szervezeti felépítésében jelentősen eltért a Hagana-tól. Akciói között robbantások, emberrablások is megjelentek, amelyek célpontjai főleg a brit tisztviselők és hivatalnokok voltak. Menachem Begin 1943-ban vette át a szervezet irányítását; ugyan az erőszakos, fegyveres akciók megmaradtak, de Begin vezetésével a szervezet propagandatevékenysége megerősödött.

¹⁵ Vö. Sherut Avir (angolul *Air Service*).

¹⁶ Yigael Yadin (1917–1984) az IDF második vezérkari főnöke (1949–1952).

¹⁷ Moshe Dayan (1915–1981) az IDF harmadik vezérkari főnöke (1953–1959), az Izraeli Védelmi Erők egyik legszimbolikusabb alakjává vált különleges megjelenésével, harci tapasztalatai és katonai vezetői képessége által.

Az Izraeli Légierő szerepe fokozatosan vált egyre hangsúlyosabbá. A második arab–izraeli háború tapasztalatai alapján átértékeltek a korábbi fejlesztési terveket, amelyben nagy szerepe volt, hogy az IDF vezetésének jelentős része addigra már átesett angliai vezérkari tiszti tanfolyamon, így az ott szerzett tapasztalatok¹⁸ jelentős hatással voltak az IAF fejlesztésére [27].

4.2. Az Izraeli Légierő evolúciója

Az IAF hét háborúban és közel 30 speciális műveletben vett részt a fennállása óta eltelt közel 70 évben [28]. Ha megnézzük az IAF küldetésnyilatkozatát, egy önálló, modern légierő képe bontakozik ki előttünk, amelynek fő feladatai:

- Izrael Állam védelme és az Izraeli Védelmi Erők műveleteinek támogatása;
- a légi uralom kivívása minden művelet végrehajtása során;
- légi támogatás biztosítása a szárazföldi erők és a haditengerészet számára;
- mélyen az ellenséges területen belül található célpontok elleni támadások végrehajtása;
- hírszerzési műveletek végrehajtása és támogatása;
- csapatok, felszerelések és fegyverrendszerek szállítása; valamint
- különleges műveletek végrehajtása [29].

Azonban a felsorolt képességek eléréséhez és szervezeti integrálásához hosszú út vezetett.

1953-ban jelentek meg az első sugárhajtású gépek az IAF kötelékében.¹⁹ Folyamatos fejlődése ellenére 1956-ban, a második arab–izraeli háború idején is főleg harctámogató feladatokat látott el az IAF, amely kimerült ejtőernyősök ledobásában, kommunikációs vonalak megrongálásában, mentő és légi támogató műveletekben.

Egy évtizeddel később azonban sor kerülhetett az IAF történetének egyik legnagyobb sikerére. 1967-ben, a hatnapos háborúban sikerült a földön megsemmisíteni az Egyiptomi Légierő gépeinek jelentős részét. Douhet érvelésében, amikor a légi csata helyett földi bázisok támadásának előnyeiről érkezett, azzal a hasonlattal élt, hogy hatékonyabb „az ellenség tojásainak és fészkeinek földön való megsemmisítése, mint repülő madaraikat a levegőben levadászni” [30]. A hatnapos háborúban végrehajtott izraeli mozzanat szinte iskolapéldája lehetne a douhet-i elgondolásnak.

A jom kippuri háború (1973) során az IAF jelentős erőfeszítéseket tett a stratégiai cél elérése és Izrael Állam védelme érdekében: egy önálló légierő minden feladati eleme megjelent a stratégiai bombázásoktól a légi csatákon át egészen a föld-levegő rakétavédelmi rendszer üzemeltetéséig. A háború alapvetően strukturálta át az izraeli védelmi tervezést, de a tanulságok az IAF számára is alapot jelentettek a további fejlesztésekre vonatkozóan [31]. Az 1970-es évektől az IAF számos olyan műveletet is végrehajtott, amelyek során idegen, sőt akár ellenséges területről történő tűszabaddításra került sor.

Az első libanoni háború kapcsán (1982) érdemes kiemelni, hogy 1981 júniusában az IAF elpusztított egy nukleáris reaktort Irakban, azaz már hivatalosan is képes és alkalmas volt arra, hogy háborús időszakon kívül is, ellenséges területen hajtson végre harci cselekményeket [32].

¹⁸ Nagy-Britannia már a II. világháború előtt rendelkezett önálló légierővel [27].

¹⁹ A beszerzésben brit, Meteor típusú vadászipülőgépek voltak.

Az első öbölháború (1991–1992) alatt a folyamatos légi járőrözés mellett a védelem vonatkozásában kiemelt szerepe volt az IAF által üzemeltetett Patriot rakétavédelmi rendszernek [33].

Igazodva az új típusú kihívásokhoz, az IAF fejlesztési irányai között egyre markánsabban jelentek meg az aszimmetrikus kihívásokkal szembeni fellépésre alkalmas eszközök, eljárásrendek. A 1990-es évek közepétől egyre gyakoribb feladattá vált terrorista célpontok felszámolása a Gázai övezetben, Ciszjordániában vagy Libanonban. A 2006-os, második libanoni háború során az IAF mint támogató haderő lépett fel. A konfliktus kapcsán érdemes kiemelni a Gadi Eisenkot²⁰ nevéhez kötődő Dahiya-doktrína kidolgozását,²¹ amely alapvetően az aszimmetrikus hadviselés katonai stratégiája. Lényege, hogy a háborús siker mielőbbi elérése érdekében – akár „aránytalan erő” alkalmazása által is – meg kell semmisíteni azokat a polgári infrastrukturális rendszerelmeket, amelyeket az ellenség fel tud használni. A doktrína számos vitát váltott ki, amelyek alapvetően morális szempontokat vetettek fel, ugyanakkor katonai alkalmazásának előnyeit nem vonták kétségbe. Értelemszerűen egy ilyen műveletben a légierőnek kiemelt szerep jutna [34]. A Hezbollah elleni fellépés kapcsán megfogalmazott Dahiya-doktrína alapvetően számos hasonlóságot mutat a Douhet-nál megjelenő elvvel, amelynek célja a *társadalmi* struktúrák felbomlasztása, így joggal feltételezhetjük, hogy Eisenkot kimondatlanul, de merített a douhet-i iskola gondolataiból.

4.3. Egy 21. századi légierő és a 21. századi kihívások rendszere

A 21. századi Izrael túllépett az 1900-as évek közepének biztonsági helyzetértékelésén. Az alapvető cél továbbra sem változott: Izrael Állam és lakosainak védelme, területi integritásának megőrzése. Azonban a tér, amelyben ezt végrehajtják, nem korlátozódik az állam területére. Izrael a 21. század elejére olyan regionális erőtenyezővé vált, amelynek jelentős szerepe van a közel-keleti helyzet alakításában. Ugyanakkor, a korábban is létező konfliktust kiváltó okok és azok újradimenzionált, megváltozott formái, valamint a modern kori, nem konvencionális fenyegetések napjainkban szintén fennállnak. Nem is beszélve a közel-keleti nukleáris versenyfutásról, amelynek részeként Izrael folyamatosan különböző módszerekkel²² próbálja gátolni a környező országokat abban, hogy nukleáris képességet fejlesszenek. Ugyan Izrael hivatalosan nem rendelkezik nukleáris képességgel,²³ de mindent elkövet, hogy ezen a területen szerzett, hivatalosan nem létező stratégiai előnyét a régióban fenntartsa [35], amelynek az egyik kiemelt eszköze maga az IAF.

Összefoglalva: a múlt és a jelen kihívásainak leküzdése, valamint a jövő kihívásainak feltérképezése jellemzi a 21. századi izraeli biztonságfelfogást és határozza meg a védelmi tervezést. Napjainkban az IDF egyszerre készül a hagyományos és aszimmetrikus kihívások kezelésére, amelynek keretében az IAF a hagyományos támadó légi képességek fejlesztése mellett nagy hangsúlyt fektet a helikopterekkel végrehajtott harci és támogató műveletekre [36],

²⁰ Gadi Eisenkot tábornok, katonai teoretikus, az IDF vezérkari főnöke (2015–2019).

²¹ Eisenkot a második libanoni háború tapasztalatai alapján 2008 körül dolgozza ki az elméletet.

²² Az IAF által: iraki reaktor bombázása (1981); iráni nukleáris létesítmények elleni bombázások. Vagy nem hagyományos módszerekkel: a valószínűsíthetően izraeli eredetű Stuxnet vírus (2010), amely iráni nukleáris centrifugák kiiktatására készült számítógépes vírus volt.

²³ Mivel az izraeli atomfegyver létét Izrael állam a mai napig nem erősítette meg, így csak találgatások vannak a robbanófejek száma és az izraeli atomfegyver alkalmazási stratégiája kapcsán. Az elemzők 80 és 400 robbanófej közötti számot becsülnek a közvetett adatok alapján.

az UAV-k²⁴ [37], a műholdas technológia²⁵ és a légvédelmi rendszer, a Vaskupola [38] további fejlesztésére. Az elmúlt években az IAF széles nemzetközi együttműködési rendszert épített ki, amelynek részét képezi a folyamatos információcsere, képzések és nemzetközi gyakorlatok, mint például az évente megrendezett Blue Flag Exercise [39]. Összességében elmondható, hogy az Izraeli Légierő alapvetően támaszkodik az izraeli high-tech iparra, és a folyamatos technikai fejlesztésben látja a megoldást a „ma” és a „holnap” kihívásaira.

5. Következtetések

Áttekintve a „légi uralom” elméletének fő pilléreit, az izraeli biztonsági környezetet meghatározó tényezők korszakokon átívelő „örült táncát” és az Izraeli Légierő evolúcióját, nem jelenthető ki egyértelműen, hogy 1948 tavaszán, a szervezet életre hívásakor Douhet írásait lapozgatva teltek a napok Tel-Avivban, az IAF központjában. Azonban számos olyan irányt, elgondolást és megvalósult koncepciót láthatunk az IAF történetén végigtekintve, amely emlékeztet, sőt akár teljesen egybe is vág a douhet-i elképzelésekkel. Az IAF szervezése és fejlődése pontosan úgy alakult, mint oly sok minden más a Közel-Keletnek ebben a kicsi, de meghatározó szegletében: a fennálló korlátok, kihívások és fenyegetettségek mellett próbálták a lehető legtöbbet, vagy afelett egy kicsit kisajtolni a lehetőségekből.

Az IAF 1948-as létrejöttékor nem állt fenn egy douhet-i elvek mentén szervezett és üzemelő légierő létrehozásának lehetősége, hiszen Izrael nem volt az a katonai középhatalom [40], amely a kor teoretikusai szerint „megengedhetne” magának egy modern, önálló haderőt. Azonban az eltelt évtizedek során számos esetben, kimondatlanul, a kor kihívásaihoz igazítva beépült a „légi uralom” elméletének sok eleme. Az IAF önálló légierőként működik, amelynek feladatai között kiemelt helyen szerepel a légi uralom. A Douhet-nál megjelenő technológiai fejlesztések fontossága, és az „egysíkúságra”, az eszközök típusainak csökkentésére vonatkozó törekvés az IAF esetében is megjelenik. Noha nem az első években, hiszen akkor a rendelkezésre álló erőforrások ezt nem tették lehetővé, de ténylegesen látható, hogy a beszerzéseket minden korszakban a kontinuitás, az átgondoltság, az egyszerűsége és a hatékonyságra törekvés jellemezte. A Dahiya-doktrínában alapvetően köszönnek vissza a douhet-i elgondolások. A stratégiai mélység hiányának kompenzálására számos megoldási javaslat született az elmúlt évtizedekben, de talán az egyik leghatékonyabb ezek közül az IAF maga, amelynek hatótávolsága és lehetőségei sok esetben túlmutatnak a többi haderőnem lehetőségein. A régió más országaiban stratégiai jelentőségű létesítmények, fegyverszállítmányok és egyéb célpontok ellen intézett támadások egyértelművé teszik, hogy Izrael regionális erőtenyező, amely Moshe Dayan szavaival élve olyan, mint „egy veszett kutya, túl veszélyes, hogy zavarni merjék” [41].

Összességében kirajzolódik az a fejlődési folyamat, amelynek elején a támogató légierő szerepe volt meghatározó, majd ezt lassan felváltotta a kooperáló, együttműködő légierő, amely napjainkra eljutott oda, hogy a kard hegyévé vált, és az izraeli befolyás egyik megkérdőjelezhetetlen záloga a régióban. Azonban fejlődése ellenére az IAF megőrizte azokat az elemeket, amely által az Izraeli Védelmi Erők integrált és kooperáló szervezeti eleme lehet.

²⁴ *Unmanned Aerial Vehicle*, UAV – pilóta nélküli légi jármű.

²⁵ Jelenleg az IAF hivatalosan három db Ofek 9 típusú műholdat üzemeltet.

Az IAF fejlődési irányai és a feladatai mindig igazodnak az adott kor kihívásaihoz és fenyegetéseihez, és éppen ez a képesség az, ami miatt az Izraeli Légierő egyesíti magában a légierő eszmerendszerének minden fontos és hasznos elemét az elmúlt évszázadból.

Felhasznált irodalom

- [1] The Jewish Link, „Interjú Ben-Gurionnal, Izrael miniszterelnökével,” CBS, 1956. február 3. Online: <http://thejewishlink.com/interview-david-ben-gurion/>
- [2] R. E. Bilstein, W. J. Boyne, T. D. Crouch, *History of Flight*. Encyclopædia Britannica. Online: www.britannica.com/technology/history-of-flight
- [3] S. Tucker, L. Matysek Wood, J. D. Murphy szerk., *The European Powers in the First World War: An Encyclopedia*. Routledge, 1999.
- [4] M. Weber, *Wissenschaft als Beruf* (Science as a Vocation). München–Leipzig, Duncker & Humblot, 1919.
- [5] A. Gat, *War in Human Civilization*. Oxford, Oxford University Press, 2006.
- [6] Tóth, J. I., „Clausewitz a háború lényegéről,” *Létünk*, 44. évf. 3. sz. pp. 25–41. 2014.
- [7] R. Henig, *Versailles and After, 1919–1933*. London, Routledge, 1995.
- [8] IWAR – The information Warfare Site, *Douhet's Theory*. Online: www.iwar.org.uk/military/resources/aspc/text/theory/douhet.htm
- [9] Szabó M., „A Magyar Királyi Honvéd Légierő létrehozásával és továbbfejlesztésével kapcsolatos elméleti tevékenység. (1930–1944),” *Hadtörténelmi Közlemények*, 94. évf. 3. sz. pp. 450–480. Online: http://epa.oszk.hu/00000/00018/00168/pdf/EPA00018_hadtortenelmi_1981_03_450-480.pdf
- [10] G. Douhet, *The Command of the Air*. New Imprint by Airforce History and Museum Program, Washington, D.C., 1998.
- [11] Krajnc, Z. *A légi hadviselés elméletének alapjai*. (elektronikus jegyzet a Hadtudományi Doktori Iskola hallgatói részére), é. n.
- [12] T. Hippler, *Bombing the People: Giulio Douhet and the Foundations of Air-Power Strategy, 1884–1939*. Cambridge, Cambridge Military Histories Series, 2013. Online: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139805674>
- [13] J. Haslam, „Giulio Douhet and the Politics of Airpower,” *The International History Review*, 34. évf. 3. sz. pp. 753–773. 2012. Online: <https://doi.org/10.1080/07075332.2012.690193>
- [14] IWAR – The information Warfare Site, *Implications of Douhet's Theory*. Online: www.iwar.org.uk/military/resources/aspc/text/theory/impdou.htm
- [15] Dudás Z., A közvetlen légi támogatás lehetőségei. [Online]. <http://193.224.76.2/downloads/konyvtar/digitgy/20013/hozzaszo/dudas.html>
- [16] Szenes Z., „A jövő háborúja. Katonai kihívások a 21. század elején,” *Rubicon*, 17. évf. 2–3. sz. pp. 102–111. 2006.
- [17] „Implications of Trenchard's Theory.” [Online]. www.iwar.org.uk/military/resources/aspc/text/theory/imptren.htm
- [18] Jenei I., Szűcs P., Krajnc Z., „William Mitchell légierő értelmezése (1.), (2.),” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 1. sz. pp. 25–38. 2014.
- [19] Oszetzky T., *Arab-izraeli háborúk 1948–1982*. Budapest, Zrínyi, 1984.

- [20] Gazdag F., Remek É., *A biztonsági tanulmányok alapjai*. Budapest, Dialóg Campus, 2018.
- [21] Rémai D., „Biztonsági kihívások hálójában, avagy az Izraeli Védelmi Erők esete az aszimmetrikus hadviseléssel,” *Honvédségi Szemle*, 148. évf. 6. sz. pp. 16–31. 2020. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2020.6.2>
- [22] Ephraim Kishon. Online: www.onjewishmatters.com/ephraim-kishon
- [23] Rémai D., *Izraeli biztonság- és védelempolitika és az izraeli hadsereg 1948 és 1956 között. A térség geopolitikai tényezőinek hatása a modern izraeli hadsereg kialakulására és jellemzőire*. Diplomamunka. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014.
- [24] S. Ulanoff, D. Eshel, *The Fighting Israeli Air Force*. New York, Arco, 1985.
- [25] M. v. Creveld, *The Sword and The Olive – A Critical History of the Israeli Defense Force*. PublicAffairs, 2002.
- [26] Y. Allon, *The making of Israel's army*. New York, Universe Books, 1970.
- [27] Krajnc Z., „A légierő eszmerendszerként való értelmezése,” in *A katonai vezetői-parancsnoki (harcászati vezetői) kompetenciák fejlesztésének lehetséges stratégiája*, Krajnc Z. szerk. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, pp. 175–192. 2014. Online: http://real.mtak.hu/27862/7/legiero_eszmerendszerkent_valo_ertelmezese.pdf
- [28] „IAF Operations,” Online: www.iaf.org.il/4693-en/IAF.aspx
- [29] „IAF Missions,” Online: www.iaf.org.il/34-en/IAF.aspx
- [30] R. S. Dudley, Douhet. *Air Force Magazine*, 2011. április 1. Online: www.airforcemag.com/article/0411douhet/
- [31] R. Weiss, *The Israeli AF in the Yom Kippur War*. Isradecol Publications, 2014.
- [32] K. M. Pollack, *Arabs at War: Military Effectiveness, 1948–1991*. Lincoln, Nebraska, University of Nebraska Press, 2002.
- [33] „IAF Wars,” Online: www.iaf.org.il/42-en/IAF.aspx
- [34] G. Eisenkot, G. Siboni, *Guidelines for Israel's National Security Strategy*. Washington, The Washington Institute for Near East Policy, 2019.
- [35] A. Cohen, *Israel and the Bomb*. New York, Columbia University Press, 1998.
- [36] T. Newdick, *Modern Israeli Air Power: Aircraft and Units of the Israeli Air Force*. Harpia Publishing, 2013.
- [37] „IAF History,” Online: www.iaf.org.il/4929-en/IAF.aspx
- [38] Jewish Virtual Library, *Iron Dome Missile Defense System*. é. n. Online: www.jewishvirtuallibrary.org/the-iron-dome
- [39] Youtube, *Blue Flag nemzetközi gyakorlat*. 2016. február 23. Online: www.youtube.com/watch?v=k6eVsPNpZ8
- [40] Szabó M., *Légiuralom-elmélet – légi fegyverkezés – a Magyar Királyi Légierő az 1930-as években*. Előadás. Mindentudás Egyeteme, 2006. október 2. Online: <https://mindentudas.videotorium.hu/hu/recordings/8338/legiuralom-elmélet-legi-fegyverkezés-a-magyar-kiralyi-legiero-az-1930-as-evekben>
- [41] D. Moshe, *Story of My Life*. New York, Da Capo, 1976.

Effects of Air Power Theory on the Formation and Evolution of the Israeli Air Force

Maybe we can rightly call the 20th century the century of aviation. The impact of technical progress on modern warfare is also unquestionable. Giulio Douhet's theory about air power appears in the evolution and operation of the national air forces even today. In this article, we attempt to examine the evolution of the Israeli Air Force from the beginning to the present days. The thought experiment is based on Douhet's principles to identify phenomena that bear resemblance to some elements of the theory of air power. Given the special nature of the Israeli security environment, these elements cannot be discerned crystal clear in any historical period. At the same time to respond to challenges and threats, the modern Israeli Air Force combines all the important and useful components of Douhet's air power theory.

Keywords: *airpower theory, Douhet, Israel, Israeli Air Force, threat-based military organisation*

Rémai Dániel tanársegéd Nemzeti Közszerológati Egyetem Rendészettudományi Kar Terrorelhárítási Tanszék remaidani@gmail.com orcid.org/0000-0002-5664-0977	Dániel Rémai Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Law Enforcement Department of Counterterrorism remaidani@gmail.com orcid.org/0000-0002-5664-0977
---	---

Nagy Imre

Megakonstellációk

Napjainkban több mint 20 000 mesterséges eredetű objektum és törmelék kering a Föld körül. Ez a szám hamarosan sokszorosára fog nőni a megakonstellációk kiépülésével. Jelen cikkben ennek a hatásait vizsgáljuk. Áttekintjük a megakonstellációk főbb jellemzőit, majd megismerkedünk néhány jelentősebb rendszerrel, és bemutatjuk a rendszerekkel kapcsolatos főbb aggodalmakat. Megállapítjuk, hogy a jelenlegi nemzetközi szabályozási környezet nem megfelelő, mielőbbi felülvizsgálatra szorul. Az űrbéli tevékenységre vonatkozó szabályok aktualizálása az egyes államok mellett a szektor szereplőinek is alapvető érdeke.

Kulcsszavak: műholdak, űrinternet, földmegfigyelés, megakonstellációk

1. Bevezetés

Az első mesterséges hold 1957. október 4-én állt Föld körüli pályára, amelyet azóta sok ezer további űreszköz követett. A CelesTrak adatai szerint 2021. március 28-ai állapot szerint 4126 aktív mesterséges objektum kering bolygónk körül, valamint 22 642 mesterséges eredetű törmelék, azaz űrszemét [25]. Ezek a számok azonban eltörpülnek a világűr hasznosításának napjainkban kezdődő új korszakában pályára kerülő műholdak száma mellett.

Az új korszak 2016-ban vette kezdetét, amikor elkezdődött a minden korábbinál több tagot számláló műholdrendszerek kiépítése [22]. Ezeknek a rendszereknek a tervezése már sok éve elkezdődött, és az elképzelésekről évek óta cikkezett a napi sajtó is, ám ennek ellenére az első indítások nagy felzúdulást váltottak ki elsősorban a csillagász közösségben. A szóban forgó megakonstellációk vagy – az Almár Iván által javasolt magyar elnevezéssel – műholdseregek elsősorban távközlési célokra készülnek, ám akadnak olyanok is, amelyeket távérzékelési területre terveznek.

A következő fejezetekben áttekintjük a műholdseregek általános jellemzőit, majd sorra vesszük a már ismert, konkrét rendszerek fontosabb adatait. Végezetül áttekintjük az új típusú rendszerek várható hatásait.

2. Klasszikus műholdrendszerek

A 2016-os esztendő előtt a legnagyobb műholdrendszer a 66 mesterséges holdat számláló távközlési célú Iridium volt [24]. Ezenkívül említést érdemel még a hasonló célú Globalstar, valamint a helymeghatározáshoz használt műholdas rendszerek. Az egyes rendszereket olyan

mesterséges holdak alkotják, amelyek teljesen azonos felépítésűek (kivétel a kínai BeiDou rendszer, amelyet két eltérő típus alkot). Ez természetes következménye annak, hogy teljesen azonos feladatot kell ellátnia a rendszer minden tagjának. Azt lehet mondani, hogy ezek a mesterséges holdak lényegében kis darabszámú sorozatokban készülnek.

A fenti, globális szolgáltatásokat nyújtó műholdrendszerek mellett vannak olyan szolgáltatók, amelyeknek a flottája jelentős számú, ám lényegében egyedi űreszközökből épül fel. Ilyen szervezetek például az Intelsat és az Eutelsat, amelyek hozzávetőlegesen 40–60 aktív mesterséges holddal rendelkeznek [19], [21]. Bár ezek az űreszközök egyedi szerkezetek, ám a költségek csökkentése végett a mesterséges hold alapját képező úgynevezett buszt (váz, napelemek, hajtóművek, irányítórendszer stb.) több megrendelő, esetleg jelentősen eltérő célú műholdjához is felhasználják a gyártók.

A hagyományos űreszközök tömege jellemzően a pár száz kilogrammtól ~5 t-ig terjed. A pályamagasságok a több száz kilométeres tartománytól a geostacionárius pálya magasságáig terjedő tartományba esnek. Az alacsonyabb pályákra általában az elektromágneses spektrum különböző tartományaiban működő távérzékelő mesterséges holdak kerülnek, mert így lehet a legjobb felbontást elérni. Az Egyenlítő felett, 35 786 km magasan húzódó geostacionárius pályára leginkább távközlési műholdak kerülnek. A két pálya közötti különbség, hogy míg az előbbi elérése viszonylag egyszerű és olcsó, addig az utóbbi bonyolult manővereket igényel, és drága. A geostacionárius pálya ára azonban megtérül például egy távközlési mesterséges hold esetében, mert a földi egységek az égboltnak mindig ugyanarra a pontjára kell nézzenek, ami egyszerűbb és így olcsóbb szerkezetet eredményez.

Néhány fontosabb „hagyományos” rendszer adatait mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat
Néhány nagyobb műholdrendszer főbb adatai [24]

Üzemeltető	Név	Műholdak száma	Pályamagasság [km]	Üzembe helyezés
Iridium Communication Inc.	Iridium	66	780	1998
Globalstar Inc.	Globalstar	48	1400	2000
CNSA	BeiDou	30	21 150 és 35 786	2018
USSF	NAVSTAR	24	20 180	1993
Roscosmos	GLONASS	24	19 130	1995
GSA, ESA	Galileo	24	23 222	2018

3. Műholdseregek általános jellemzői

A műholdseregek legfontosabb jellemzője, hogy tagjainak a száma sokszorosa minden korábbi műholdrendszernek. Míg korábban a legtöbb tagot számláló rendszerben 66 műhold teljesít szolgálatot egyszerre, addig a kiépítés alatt álló rendszerek közül a kisebbek is 100 feletti tagot számlálnak, a legnagyobb pedig jelenleg közel 12 000 egységre rendelkezik engedéllyel¹ [8].

Maguk a műholdak a korábbiaknál sokkal kisebbek, tömegük jellemzően a 100–1000 kg közötti tartományba esik. Az alkalmazott pályák is részben rendhagyók, mert például

¹ Sajtóhírek szerint jelenleg engedélyeztetés alatt áll további 30 000 Starlink műhold, így a rendszer teljes kiépítése után közel 42 000 tagból fog állni. A OneWeb 2020-ban mintegy 48 000 pályára kért engedélyt, ám később ezt a kérelmet módosítva 6372-re csökkentette az igényt (egyelőre?).

az űrtávközlésben legelterjedtebb geostacionárius pályával szemben 2000 km vagy alacsonyabb felszín feletti pályákat (LEO) terveznek.

2. táblázat
Néhány tervezett, illetve kiépítés alatt álló megakonstelláció főbb adatai [a szerző szerkesztése]

Üzemeltető	Név	Műholdak száma	Pályamagasság [km]	Első indítás
SpaceX [8]	Starlink	11 943 (+30 000?)	550	2019
Samsung [11]	?	4600	<2000	?
Kuiper System (Amazon) [10]	Kuiper	3263	610	?
OneWeb [23]	OneWeb	648+1972 (+6372?)	1200	2019
Spire Global [9]	Lemur	872	385–650	?
Plante Labs[7]	Flock	600	>500	2014
Satelogic S. A. [22]	ŰuSat	300	500	2016
Swarm Tech. [6]	SpaceBEE	150	300–550	2018
Telesat [8]	Telesat	117	1248	?
Astro Digital [8]	?	100	475–625	?
HawkEye 360 [5]	HE360	80	575	?
Apple [18]	?	?	?	?

A korábbinál alacsonyabb pályáknak több előnye is van. Mindenekelőtt minél kisebb a pályamagasság, annál olcsóbb az űreszközt odajuttatni. Az üzemeltetés szempontjából is előnyös lehet, hiszen egy távérzékelő műhold egyszerűbb optikával is nagyobb felbontást tud elérni, mint magasabb pályáról komolyabb optikával. Telekommunikációs területen az előny kettős, mivel kisebb teljesítmény szükséges adott átviteli sebesség eléréséhez, miközben a késleltetés is alacsonyabb lehet.

Az előnyök mellett természetesen hátrányok is vannak:

- míg geostacionárius pályán három megfelelő helyzetű mesterséges holddal szinte globális lefedettség érhető el, addig alacsonyabb pályán nagyszámú műhold szükséges ugyanehhez;
- mivel nagyszámú mesterséges hold szükséges adott lefedettség eléréshez, megnő a zsúfoltság, és így az ütközésveszély a szóban forgó tartományban. (A problémával több szakkikk is foglalkozik, például [12] és [13]);
- további hátrány, hogy alacsony, illetve nagyon alacsony pályákon (VLEO) a mesterséges holdak passzív élettartama hetekben mérhető a jelentős légköri fékeződés miatt, így a pályamagasság folyamatos korrekcióra szorul, amihez nagy mennyiségű hajtóanyag szükséges;
- különösen VLEO esetén kap jelentőséget az oxidáció. Ennek az az oka, hogy ezek a pályák a felső légkörnek a viszonylag sűrű rétegeibe esnek, ahol még számottevő mennyiségű molekuláris és atomos oxigén található. Ez elsősorban a napelemek fokozott degradálódása miatt jelent problémát;
- a két fentebbi pont következménye, hogy ezeknek a műholdaknak a tervezett élettartama 3–5 év körüli, szemben a geostacionárius műholdak ~15 évével;
- ha 200 kg/db tömeggel számolunk, akkor a közeljövőben tervezett ~50 000 mesterséges hold (lásd alább) össztömege hozzávetőlegesen 10 000 t. Ez azt jelenti, hogy a jelenleg rendszerben álló rakétákkal minimum több száz, vagy akár ezret is meghaladó számú indítás szükséges a rendszerek kiépítéséhez;

- a viszonylag rövid élettartam miatt évről évre nagyszámú mesterséges holdat kell pályára állítani, amihez évi ~200 rakéta indítására lesz szükség. A jelenlegi infrastruktúra mellett ez nehezen elképzelhető.

A hátrányból néha előny is válhat. A nagy mennyiségű műhold előállításának méretgazdaságossága miatt mérsékli az egy darabra jutó költségeket. Ez az árcsökkentő hatás részben kihat a kisebb darabszámban készülő űreszközök áraira is. A szükséges indítások száma először emeli ugyan a rakéták árát, ám hosszabb távon olyan műszaki megoldások is gazdaságossá válhatnak, amelyeknek a kifejlesztése sok pénzbe kerül, de a nagyszámú indítás mellett megtérülnek. Ezek hatására az egy indításra eső költségek már középtávon is jelentősen csökkenhetnek. Ilyen irányú fejlesztések lehetnek például a részben vagy teljesen többször felhasználható, illetve a jelenleg rendszerben állóknál nagyobb teljesítményű rakéták építése. Ezek mellett szóba jöhet új típusú hajtóművek kifejlesztése is.

Az indítási költségek mellett az energiaellátáshoz használatos napelemek árát is méréselheti a műholdseregek megjelenése. Jelenleg a világűrbeli használatra szánt napelemek ára hozzávetőlegesen 500 USD/W [2]. Ez a magas ár részben annak köszönhető, hogy csak viszonylag kis mennyiségben állítják elő ezeket a paneleket, és jelenleg ez az egyik legnagyobb akadálya az űrnaperóművek építésének [14]. A megakonstellációk kiépítésével felfutó napelemgyártás közelebb hozhatja a világűrbe telepített naperóművek megvalósulását, amennyiben jelentősen mérsékli a panelek árát.

Mivel a műholdseregek alacsony, illetve nagyon alacsony pályákra kerülnek, a pályamódosításhoz célszerű ionhajtóműveket használni. Ezek ma már rendelkezésre állnak, ám a használatuk nem nevezhető széles körben elterjedtnek. A megakonstellációk jelentősen segíthetik a terjedésüket, amely csökkentheti az elterjedten alkalmazott mérgező hidrazin használatát. VLEO mesterséges holdak esetén tovább lehetne csökkenteni az űreszközök fedélzeti hajtóanyag-tartalmát, ha közönséges ionhajtóművek helyett légköri gázokkal táplált változatokat alkalmaznának. A szélessávúinternet-szolgáltató műholdseregek esetén jelentős előnye lenne ezeknek a hajtóműveknek, mert akár 200 km alatti pályamagasságok mellett is biztosítani tudnák a több éves üzemidőt. A pályamagasság csökkentésével csökkenthető lenne a késleltetés is, amely az ilyen típusú szolgáltatások esetén kulcsfontosságú paraméter. Bár jelenleg nem ismertek ilyen irányú kutatások a műholdseregek fejlesztői részéről, ám feltehető, hogy a kétségtelen előnyök miatt előbb-utóbb erre sor fog kerülni. Amennyiben az ilyen irányú munkák sikerre vezetnek, abból számos más terület is profitálhat (például a katonai, illetve a tudományos célú mesterséges holdak) [13].

4. Néhány műholdsereg bemutatása

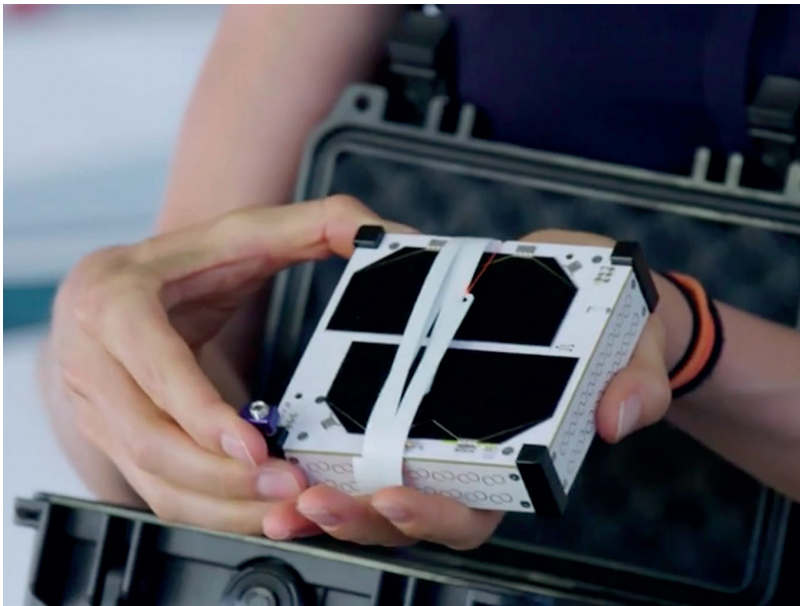
4.1. ÑuSat

Jelenleg több műholdsereg kiépítése is folyamatban van. Időrendben az első az argentin földmegfigyelő műholdrendszer, a ÑuSat. Az argentinai telephely, illetve az uruguayi gyártás, és hogy nem használnak az USA-ban készült alkatrészeket, lehetővé teszi az elkészült mesterséges holdak indításához akár a kedvező árú kínai rakéták használatát is. A rendszer első tagjának indítására 2016-ban került sor Kínából. A további indítások is főleg Kínából történtek,

de felmerült, hogy a SpaceX rakétáit is igénybe veszik. Egyelőre egy kivétel van, a hatodik mesterséges hold 2020 szeptemberében az ESA Vega rakétájával állt pályára. Maguk a műholdak 37 kg tömegűek, és 1 m felbontású hiperspektrális felvételeket tudnak készíteni a felszínről. A jelenleg kiépítés alatt álló Aleph-1 konstelláció az első szakaszban 90 mesterséges holdat fog tartalmazni, amelyek hetente fogják elkészíteni a Föld teljes felszínének a nagy felbontású fényképét az 500 km magasan húzódó poláris pályáról. A teljes kiépítés után a 300 mesterséges hold már napi rendszerességgel teszi meg majd ugyanezt. Több cég is hasonló flotta kiépítésén dolgozik (például Planet, BlackSky, ICEYE, Csilin-1).

4.2. Swarm – SpaceBEE

A második a megvalósulás útjára lépő műholdsereg üzemeltetője, a Swarm Technologies Inc. A cég SpaceBEE nevű műholdjai közül az első négy Indiából indult 2018-ban. A helyszín kiválasztása nem a szokványos szempontok alapján történt. Legfőbb indoka az volt, hogy az Amerikai Egyesült Államokban bejegyzett cég odahaza nem kapott engedélyt a mesterséges holdak pályára állításához. Ennek az volt az oka, hogy a hatóságok úgy ítélték meg, hogy túl kicsik az űreszközök, ami megnehezíti a földi radarok számára a mozgásuk követését. A Föld körüli pályán keringő monitorozhatatlan testek nagymértékben növelhetik az ütközések veszélyét a többi űreszköz számára, mivel a pályájukat nem lehet kellő biztonsággal előre jelezni. Az indiai start után az USA hatóságai 900 000 USD-s büntetést szabtak ki a Swarm Technologies Inc.-re [4].



1. ábra

Egy $10 \times 10 \times 2,8$ cm méretű SpaceBEE műhold a gyártó által közzétett fényképen [19]

Ez az eset rávilágít, hogy a mesterséges holdak engedélyeztetésének jelenlegi, nemzeti szintű szabályozása nem megfelelő. Szükséges lenne az engedélyezési irányelvek egységesítésére, elkerülendő a hasonló eseteket. Ellenkező esetben az árak várható csökkenése miatt jelentősen növekvő számú mesterséges hold kaotikus állapotokat idézhet elő Föld körüli pályán. Az átlátható és nemzetközileg egységes szabályozás nemcsak biztonsági kérdés, hanem az egész ágazat fejlődése szempontjából is fontos lenne.

Maga a rendszer alacsony átviteli sebességű internetelérést biztosít az úgynevezett IoT- (*internet of things*) területen. Az üzemeltető okosautók, lakott területektől távol működő mérőállomások stb. adatainak továbbítására ajánlja a szolgáltatásait. A jelenleg engedélyezett 150 mesterséges hold 300 és 550 km közötti magasságú pályákra kerül. Méretük mindössze $2,8 \times 10 \times 10$ cm (1. ábra).

4.3. OneWeb

A 2019-es esztendő két műholdsereget hozott. A kettő közül a kisebb visszhangot a brit OneWeb váltotta ki. A SpaceBEE-hez hasonlóan ennek a rendszernek a tagjait is műholdas internetszolgáltatásra tervezték. A teljes rendszer az első fázisban 648 mesterséges holdat fog tartalmazni. A továbbiakban, ha lesznek megrendelők, ez szám 1972-vel növekedhet. A 150 kg tömegű mesterséges holdak 1200 km magasan húzódó poláris pályára kerülnek, és 50 Mbit/s sebességű internet-hozzáférést ígérnek. Az űreszközöket az Airbus Defence and Space készíti. A pályára állításhoz Szojuz rakétákat használnak.

A OneWeb kapcsán sor került egy olyan eseményre, amelynek a bekövetkeztétől a műholdseregek kritikusai tartanak: 2020-ban csődbe menekült az üzemeltető. A csődeljárás gyorsan lezárult, mert a brit kormány úgy ítélte meg, hogy Nagy-Britannia számára stratégiai fontosságú ez a rendszer, ezért részben felvásárolta a céget. A szerencsés kimenetel ellenére jogosan merül fel a kérdés, hogy mi történik egy, a Föld körül keringő műholdsereggel egy esetleges sikertelen csődeljárást követően? A kérdésre jelenleg nincs megnyugtató válasz. A korábban említett, az engedélyeztetések körüli visszasságokhoz hasonlóan itt is nemzetközi szinten összehangolt szabályozásra lenne szükség, hiszen az esetleg irányítás nélkül maradó nagyszámú mesterséges hold is globális veszélyforrássá válhat.

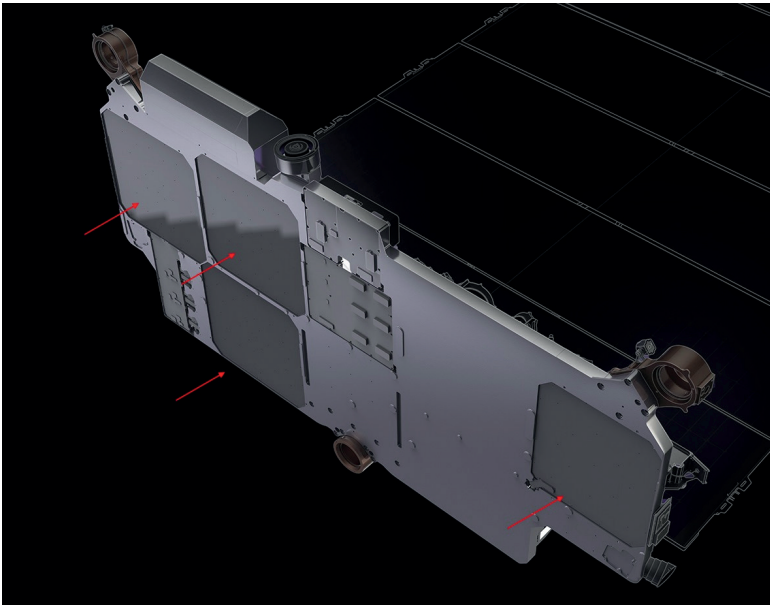
A csődeljárás sikeres lezárását követően a cég folytatta a megkezdett munkát. Ennek részeként elindította a következő generációs rendszer mesterséges holdjaihoz használni kívánt pályákra az engedélyeztetési eljárást, összesen 47 844-re. Később ezt a számot jelentősen, 6372-re csökkentették [23]. Az okok között a felelősségteljes magatartást említették, amely szükséges az űrtevékenység hosszú távú fenntarthatóságához, azonban feltehetően a költséghatékony működés biztosítása is jelentős szerepet játszhatott.

A rendszer kapcsán nemzetbiztonsági aggodalmak is felmerültek Oroszország részéről mondván, hogy kémkedésre is használható. Erre hivatkozva az orosz hatóságok megtagadták a OneWeb által kért frekvenciák használati engedélyének megadását. Ennek ellenére, mint azt korábban említettük, a rendszert alkotó mesterséges holdakat orosz rakétákkal állítják pályára. Az eset kapcsán nem szabad elfeledkezni arról sem, hogy olyan időszakban került sor az elutasításra, amikor Oroszország és a Nyugat kapcsolata a hidegháború óta nem látott mélységbe zuhant.

4.4. Starlink

A Starlink, bár időrendben nem az első, de mindenképpen a legnagyobb visszhangot kiváltó rendszer. Ez némileg meglepő annak tükrében, hogy a rendszer üzemeltetője, a Space Exploration Technologies Corporation (elterjedt rövidítéssel SpaceX), már évekkel korábban nyilvánosságra hozta a tervezett rendszer főbb paramétereit. Így nehéz lenne azt mondani, hogy meglepetést okozott a 2019-es esztendőben pályára állított első adag mesterséges hold. Talán a műholdak tervezett nagy száma miatt kételkedtek benne többen is, hogy valóban megvalósul-e ez a rendszer a közeljövőben. Az első néhány rakomány mesterséges hold indítása után jött még csak az igazán megdöbbentő hír, miszerint a már engedélyezett közel 12 000 űreszköz még csak az kezdet. A rendszer üzemeltetője ugyanis kérelmet nyújtott be további 30 000 műhold pályára állítására. Utóbbi szám nagyságát talán az érzékelteti a legjobban, hogy napjainkban hozzávetőlegesen 22 000 legalább pár centiméteres test pályáját követik a földi radarrendszerek. Ezek nagy többsége törmelék, azaz űrszemét. Vagyis, ha minden a cég elképzelései szerint alakul, hamarosan több aktív mesterséges hold kering majd a Föld körül, mint űrszemét. A műholdseregeket leszámítva jelenleg mintegy 2000 működő mesterséges hold kering bolygónk körül.

A Starlink műholdak pályára állítását a SpaceX saját Falcon 9 rakétájával oldják meg. Mivel a rakéta akár 15 t-át is fel tud juttatni alacsony Föld körüli pályára, egy indítás alkalmával 60 darab, egyenként 227 kg tömegű mesterséges holdat visz magával 550 km magasságba. (Ezt a számot érdemes összevetni a korábbi csúcstartó Iridium rendszerrel, amely összesen 66 tagból áll!) Az elsődleges pálya elérése után megkezdődik a műholdak kibocsátása. Az önálló sodott űreszközök ezt követően saját ionhajtóművük használatával érik el a tervezett pályájukat.



2. ábra

Egy Starlink műhold a SpaceX által közzétett képen [3]

A mesterséges holdak kibocsátása rendkívül látványos jelenség. Ennek három oka van. Egyrészt az, hogy alacsony pályán történik, másrészt, hogy a műholdak viszonylag nagyok, illetve magas a fényvisszaverő képességük. Alakjukat tekintve leginkább egy nagyon vékony (téglalapszerű) téglatestre hasonlítanak, amelyhez egy napelemszárny csatlakozik. A téglatest nagyobb felületű lapján négy antennát helyeztek el, amelyek mindig a felszín felé kell nézzenek. A kinyitott napelemszárny erre a síkra merőlegesen áll a felszínnel ellentétes oldalon. Az alakból következően a mesterséges hold méretéhez képest nagy a Föld felé néző felület, ami a Földről nézve az átlagosnál fényesebbé teszi a hasonló tömegű műholdakhoz képest (2. ábra).

Megfigyelhető a nagy nagy méretű négyzet alakú antenna, és hogy mennyire fényes a borítása.

A rendszer sok kritikát kapott az általa okozott fényszennyezés miatt. Erre válaszul fényvisszaverődést csökkentő bevonattal, illetve árnyékolással látják el a rendszer újabb tagjait.

5. Internet a világűrben

A jelenleg ismert tervek, illetve a kiépítés alatt álló rendszerek között többségben vannak az internet-hozzáférést szolgáltató műholdseregek. A távérzékelési feladatokat ellátó rendszerek esetén logikus választás az alacsony pálya és a nagyszámú mesterséges hold, hiszen így kisebb üreszközzel rövid idő alatt lehet a teljes felszínt végigfényképezni. Az internetszolgáltatás esetében nem ennyire magától értetődők az előnyök.

Egy geostacionárius pályán keringő mesterséges holdat használva az adatok továbbítására beleütközünk a késleltetés problémájába. A felszínről induló jelnek először el kell jutnia a műholdig, majd onnan vissza a vevőig, és ugyanezt az utat kell újra megtennie a válasznak is, szerencsére vákuumban, azaz a lehető legnagyobb sebességgel. Mivel a geostacionárius pálya az Egyenlítő felett 35 768 km magasan húzódik, ez földrajzi helyzettől függően több mint $4 \times 35\,768$ km utat jelent. Ehhez legalább 477 ms idő szükséges. Ezzel szemben egy alacsony pályán keringő mesterséges hold esetén ugyanez az út hozzátétőlegesen néhány század részére esik, és sokkal kevésbé függ a földrajzi helyzettől, ha a műholdak számát és pályáit optimálisan alakítják ki. Így a jel véges terjedési sebessége milliszekundumos nagyságrendben járul hozzá a teljes késleltetéshez.

A műholdas rendszerek előnye a földi hálózatokkal szemben, hogy míg a felszínen üveg-szálakban továbbítják az adatokat, a világűrben a műholdak között vákuum van. Amennyiben sikerül megoldani a műhold-műhold adatátvitelt, egy kellően alacsony pályájú műholdas rendszer a felszíni üveg-szálaknál is alacsonyabb késleltetést kínálhat. Ez bizonyos területeken előnyös lehet. Ilyenek például az úgynevezett nagy frekvenciás tőzsdei kereskedés, az online játékok stb. Számítások szerint ahhoz, hogy egy műholdas internetszolgáltatás a földi üveg-szálak rendszereknél alacsonyabb késleltetéssel működjön, 1557 km alatti magasságban húzódó pályákra van szükség [11].

Bár elméletileg a műholdas internet komoly előnyökkel rendelkezik a földi változattal szemben, a megvalósítás cseppet sem egyszerű. A felszínről egy irányban látszó, különböző magasságokban keringő mesterséges holdakról érkező jelek interferálhatnak, ami rontja a szolgáltatások minőségét. A probléma kezelhető a rendelkezésre álló erőforrások megfelelő menedzselésével, ám figyelembe kell venni például a felhasználói igényeket, ismerni kell

a műholdak pontos helyzetét, a légköri viszonyokat stb., ami rendkívül sok adat ismeretét és feldolgozását feltételezi. A Föld körül keringő mesterséges holdak irányítása, az esetleges ütközésközi helyzetek megelőzése is komoly kihívást jelent a megakonstellációk üzemeltetése során. És nem utolsósorban az előfizetők számára szükséges földi egységek ára is meglehetősen magas lesz [15]. Jelenleg a Starlink esetében ismertek az árak. A csatlakozáshoz szükséges egységért 500 USD-t kérnek, amihez még hozzájön a havi 100 USD-s előfizetési díj. Becslések szerint a földi egység ára valójában közelebb lehet az 1500 USD-hoz. Szintén megoldandó optimalizációs probléma, hogy az előfizető és az elérni kívánt szerver között a jelek milyen úton haladjanak. Az optimalizáció során a rendszer és környezetének állapotát is figyelembe kell venni [15], [17].

5.1. Műholdas mobilinternet?

A mobiltelefonok fejlődése egyes vélemények szerint elvezethet akár műholdas mobilinternet-hez is [9]. Ezzel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy bár az 5G-s mobiltelefonok terjedésével egyre több olyan készülék lesz használatban, amely képes a mesterséges holdak által használt frekvenciatarományok használatára, ez önmagában még kevés ahhoz, hogy egy több száz kilométer távolságban keringő műholddal kommunikáljanak. Jelenleg a földi egységek mérete lényegesen meghaladja egy mobiltelefon méretét. El lehet készíteni az antennát ugyan kisebb méretben is, ám a méret csökkentése az átviteli sebesség rovására mehet. Ráadásul a telefonok mobil eszközök lévén erősen korlátozott akkumulátorkapacitással rendelkeznek. Amennyiben sikerülne jelentősen növelni a kapacitást, akkor sem növelhető korlátlanul a kommunikáció fogyasztási kerete, mert a véges hatások miatt disszipálódó hőtől a készülék kellemetlenül meleggé válna. Továbbá a mobiltelefonok térbeli helyzete használat közben közel sem ideális egy mesterséges holddal történő kommunikáció szempontjából. A problémákra részben megoldást jelenthet, ha nem ragaszkodunk a közel szimmetrikus adatátviteli sebességhez. Valós használati körülmények között általában a letöltési sebesség határozza meg leginkább a felhasználói élményt. Ha csökkentjük a feltöltési sebességet, akkor csökkenthető a készülék fogyasztása, viszont a kis méretű antenna miatt a műhold sugárzási teljesítményét kell jelentősen növelni, ami nagyobb és drágább üreszközöket tesz szükségessé. A problémák ellenére a nagyobb mobiltelefon-gyártók (például Samsung, Apple) valószínűleg foglalkoznak ilyen irányú fejlesztésekkel, noha nem várható, hogy ezek a fejlesztések tíz éven belül eredményre vezetnének. Ezek a fejlesztések valójában túlmutatnak a műholdas mobilinterneten, hiszen az 5G-s szabványú hálózatokon is van lehetőség hangalapú hívások továbbítására.

6. Aggodalmak

A műholdseregek kapcsán több aggály is felmerült. Mindenekelőtt a nagyszámú mesterséges hold fokozza az ütközések veszélyét. Egy ilyen baleset hatásai túlmutatnak az adott üreszközök pusztulásán, mivel a keletkező törmelék több száz éven át keringhet a Föld körül, állandó veszélyforrást jelentve az üreszközök számára. Az ütközések elkerüléséhez nagy teljesítményű földi követő hálózatra van szükség. Hiába azonban a kellően pontos pálya-előrejelzés, ha a mesterséges holdak irányítóközpontjai nem működnek megfelelően. A Starlink

44 jelű műhold 2019. szeptember 2-án kezdte veszélyesen megközelíteni az ESA Aeolus nevű műholdját. Ebben az esetben a Starlinknek kellett volna kitérő manővert végrehajtania, ám a SpaceX irányítóközpontjában a belső tájékoztatási rendszer hibájából a személyzet nem értesült a vészhelyzetről. Végül az ESA műholdja hajtott végre pályamódosítást a feltételezett ütközés előtt egy nappal.

A OneWeb már említett csődje, a Swarm Technologies illegális műholdindítása mellett a Satellogic esete is azt mutatja, hogy a jelenlegi egyezmények már nem felelnek meg a kor követelményeinek. Utóbbi két eset alapján megtörténhet, hogy ha egy cég számára nem engedélyezik a kívánt mesterséges hold pályára állítását egy országban, akkor egyszerűen áthelyezi a székhelyét egy olyan országba, amely feltehetően nem fog kifogást emelni. A Satellogic esetében a dél-amerikai székhelyre csak azért volt szükség, hogy olcsó kínai rakétákkal tudják megoldani a űsSat műholdak indítását, ám a módszer alkalmas lehet fontos szabályok megkerülésére is.

Elsősorban az internetszolgáltató rendszerekkel szemben merülnek fel biztonsági kérdések. Ezeknek a rendszereknek az előfizetői ugyanis meg tudják kerülni a tartózkodási helyük szerinti országok informatikai infrastruktúráját. Ez alighanem azoknak az országoknak a vezetését fogja leginkább zavarni, amelyek erősen kontrollálják, hogy az állampolgáraik milyen tartalmakhoz férhetnek hozzá. Feltehetően legalább részben ennek köszönhető, hogy Oroszország törvényben készül megtiltani a területén a külföldi üzemeltetésű műholdas internetszolgáltatások használatát.

A helyzetet csak bonyolítani fogja, ha megjelennek a műholdas mobilinternet-rendszerek, amelyek esetleg hangalapú hívások kezdeményezésére is alkalmasak lesznek. Ezek a szolgáltatások a jelenlegi földi szolgáltatóknak fognak fokozatosan növekvő konkurenciát állítani. Azok, akik előfizetnek egy ilyen szolgáltatásra, nem mellékesen kikerülhetnek a honi szabályozás alól, ami megnehezítheti például a bűnüldöző szervek számára a hívásadatokhoz történő hozzáférést.

A műholdas internetszolgáltató rendszerek mellett az egyre fejlődő távérzékelő mesterséges holdakból álló rendszerek is ébreszthetnek aggodalmat. Ezeknek a rendszereknek a képességeit korlátozzák ugyan a vonatkozó szabályok, azonban így is képesek katonai felhasználásra alkalmas adatokat szolgáltatni, különösen, ha kombinálják a különböző spektrumtartományokban végzett megfigyeléseket. Jó példa erre a 38north.org oldal által készített tanulmány, amelyben kereskedelmi alapon hozzáférhető adatokat dolgoztak fel. Az optikai és apertúraszintézises radarfelvételek kombinálásával sikerült követniük a jelenleg fejlesztés alatt álló észak-koreai Szinpo tengeralattjáró mozgását az álcázási kísérlet ellenére [1].

A nemzetközi szintű szabályozás modernizálása valójában leginkább a rendszerek üzemeltetőinek áll érdekében. Egy olyan jogi környezet ugyanis, amelyben az egyes nemzeti szintű szabályozások jelentősen eltérnek, a szabályok megkerülhetők, ami Föld körüli pályán kaotikus állapotokat eredményezhet. Egy ilyen helyzetben a megakonstellációk üzemeltetése kockázatosná válik, ami extra költségeket jelent.

A cégek mellett az államoknak is érdeke lenne a megállapodás, hiszen a tervezett több tízezer mesterséges hold mellett nincs realitása megsemmisítéssel fenyegetni. Ha lenne is hozzá katonai erő és képesség, a keletkező törmelék gyakorlatilag ellehetetlenítené a további ürtevékenységet, de legalábbis erősen korlátozná és kockázatosná tenné azt.

7. Összegzés

Napjainkban a világűr gazdasági hasznosítása új korszakának kezdeteit éljük. Míg korábban a legnagyobb mesterséges holdakból álló rendszerek sem mentek 66 tagnál feljebb, addig a jelenleg tervezés, fejlesztés, illetve kiépítés alatt álló rendszerek néhány száztól akár több tízezerig is elmennek. Ennek hatására drasztikusan fog növekedni a Föld körül keringő mesterséges égitestek száma. Míg korábban a pár centimétert meghaladó méretű törmelékekkel együtt hozzávetőlegesen 20 000 testet tartottak nyilván, a tervezett megakonstellációk között olyanok is vannak, amelyek az elképzelések szerint 40 000–50 000 mesterséges holdból fognak állni.

Míg korábban domináltak a geostacionárius pályára kerülő műholdak, az új érában az alacsony, illetve a nagyon alacsony pályák kerülnek túlsúlyba. Ezeket a pályamagasságokat könnyebb elérni, de jelentős lehet a légköri fékeződés hatása és a felső légkör atomos oxigénje által okozott korrózió is. Ez hatással van a mesterséges holdak tervezett élettartamára is, amely például a geostacionárius műholdak ~15 évével szemben mindössze ~5 év. A mesterséges holdak mérete is jelentősen eltér a korábbiaktól. Míg korábban 1–5 t tömeg volt a jellemző, a műholdseregek esetében ugyanez 250 kg vagy még kisebb. Több cég is egészen kicsi, *cubesat* méretű tagokból épít rendszert. A legkisebbek a SpaceBEE műholdak, amelyek mindössze $2,8 \times 10 \times 10$ cm méretűek.

A kis méret és a korábban elképzelhetetlenül nagy darabszám több problémát is felvet. Először is pályára kell állítani ezeket az űreszközöket, ami a kis tömeg mellett is a korábbiaknál lényegesen több, akár évi 200 rakétaindítást jelenthet. A viszonylag rövid élettartam miatt ez az ütem nemcsak a kiépítéshez szükséges, hanem a rendszer folyamatos üzemben tartásához is. A pályán lévő űreszközök mozgását folyamatosan követni kell, részben az ütközések megelőzése miatt, részben védelmi okokból. Ehhez megfelelő teljesítményű földi infrastruktúra is szükséges. Ha drasztikusan növekszik a föld körüli pálya zsúfoltsága, akkor a követő rendszer fejlesztése is elengedhetetlenné válik. A fejlesztések szükségességét csak fokozza, hogy a legkisebb műholdak mérete folyamatosan csökken.

További probléma, hogy a műholdak számának emelkedésével párhuzamosan várhatóan az űrszemét mennyisége is emelkedni fog. Már napjainkban is vannak a rendszerek tagjai között olyanok, amelyek irányíthatatlanná váltak. Szerencsére ezek alacsony pályán keringenek, így néhány hónap vagy év elteltével elégnak a légkör sűrűbb rétegeiben.

Jelenleg tisztázatlan kérdés, hogy mi történik egy megakonstellációval, ha az üzemeltetője csődbe megy. Hogy valós problémáról van szó, azt jelzi, hogy a OneWeb üzemeltetőjével ez megtörtént 2020-ban. Bár szerencsére a cég anyagi helyzetét sikerült gyorsan és megnyugtatóan rendezni, ez nem jelenti azt, hogy a következő csődeseményt is sikerül hasonló módon megoldani.

Biztonsági aggodalmak is felmerültek a megakonstellációk kapcsán. Egyelőre csak Oroszország helyezte kilátásba, hogy büntetni fogja a területén a külföldi műholdas internet szolgáltató rendszerek használatát. Az indoklás szerint ezek a rendszerek kémkedésre is használhatók lennének, illetve feltehetően katonai kommunikációs célokra is használni fogják. Várhatóan további országok is a tiltás útjára fognak lépni, ugyanis a műholdas internetszolgáltatás elméletileg lehetőséget nyújtana a felhasználó lakóhelyén érvényes internethasználati szabályok, tiltások, illetve a cenzúra megkerülésére.

Végezetül, a mesterséges holdak engedélyezésének jelenlegi rendszere is felülvizsgálatra szorul. Jelenleg, ha egy ország egy műhold indítását nem engedélyezi vagy korlátozná a működését, akkor az üzemeltető megteheti, hogy áthelyezi a székhelyét egy másik országba, amelynek a hatóságai nem emelnek kifogásokat. A helyzet rendezése fontos lenne, mert bár jelenleg nemzeti szinten szabályozott az engedélyezés, a hatások globálisak.

Felhasznált irodalom

- [1] 38 North, *SAR Imagery Reveals the Presence of Concealed Submarine at North Korea's Sinpo Naval Base*. 2020. január 3. Online: www.38north.org/2020/01/sinpo010320/
- [2] P. Beauchamp, R. Ewell, E. Brandon, R. Surampudi, *Solar Power and Energy Storage for Planetary Missions*. Lunar and Planetary Institute NASA Outer Planets Assessment Group Meeting, 2015. augusztus 24–26. Online: www.lpi.usra.edu/opag/meetings/aug2015/presentations/day-2/11_beauchamp.pdf
- [3] D. Coldewey, SpaceX reveals more Starlink info after launch of first 60 satellites. *TechCrunch*, 2019. május 24. Online: techcrunch.com/2019/05/24/spacex-reveals-more-starlink-info-after-launch-of-first-60-satellites/
- [4] FCC News Release, *FCC Reaches \$900,000 Settlement WITH Swarm for Unauthorized Satellite Launch*. é. n. Online: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-355578A1.pdf>
- [5] FCC Report, *Application for Earth Exploration Satellite Service Other by HawkEye 360, Inc.* 2020. december 18. Online: <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20190102-00001>
- [6] FCC Report, *Application for Mobile Satellite Service by Swarm Technologies, Inc.* 2021. január 8. Online: <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20181221-00094>
- [7] FCC Report, *Planet Labs 2017 Annual Report*. 2017. június 29. Online: <https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20130626-00087/1242054>
- [8] FCC Report, *Public Notice SAT01262*. 2017. augusztus 25. Online: <https://fcc.report/IBFS/Public-Notices/1265973>
- [9] FCC Report, *Public Notice SAT01363*. 2018. december 7. Online: https://licensing.fcc.gov/ibfsweb/ib.page.FetchPN?report_key=1588155
- [10] FCC Report, *Public Notice SAT01416*. 2019. szeptember 17. Online: <https://fcc.report/IBFS/Public-Notices/1926445>
- [11] F. Khan, Mobile Internet from the Heavens. *Arxiv*, é. n. Online: <https://arxiv.org/pdf/1508.02383.pdf>
- [12] S. Le May, S. Gehly, B. A. Carter, S. Flegel, „Space debris collision probability analysis for proposed global broadband constellations,” *Acta Astronautica*, 151. évf. pp. 445–455. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.06.036>
- [13] Nagy Imre, „Légköri gázokkal táplált ionhajtóművek,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 1 sz. pp. 213–222. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.17>
- [14] Nagy Imre, „Naperőművek Föld körüli pályán,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2 sz. pp. 67–73. 2018. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4333/3540>

- [15] N. Reiland, A. J. Rosengren, R. Malhotra, C. Bombardelli, Assessing and Minimizing Collisions in Satellite Mega-Constellations. *Arxiv*, 2020. február 2. Online: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.010>
- [16] I. del Portillo, B. G. Cameron, E. F. Crawley, „A Technical Comparison of Three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to Provide Global Broadband,” *Acta Astronautica*, 159. évf. pp. 123–135. 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.03.040>
- [17] Q. Chen, X. Chen, L. Yang, S. Wu, X. Tao, „A distributed congestion avoidance routing algorithm in mega-constellation network with multi-gateway,” *Acta Astronautica*, 162. évf. pp. 376–387. 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.05.051>
- [18] S. Ridwan, *Response to the Invitation to participate in the Open Consultation of the CWG-Internet on International internet-related public policy issues on harnessing new and emerging telecommunications/ICTs for sustainable development*. ITU Consultation October 2019. Online: www.itu.int/en/Lists/consultationOct2019/Attachments/38/cwg-internet-une.pdf
- [19] S. Spangelo, Introducing Swarm: The World's Lowest-Cost Global Communications Network. *Swarm*, 2018. augusztus 30. Online: <https://swarm.space/introducing-swarm-the-worlds-lowest-cost-global-communications-network/>
- [20] Wikipedia the Free Encyclopedia, *Eutelsat*. Online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Eutelsat>
- [21] Wikipedia the Free Encyclopedia, *Intelsat*. Online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Intelsat>
- [22] Wikipedia the Free Encyclopedia, *NuSat*. Online: <https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%91uSat>
- [23] Wikipedia the Free Encyclopedia, *OneWeb satellite constellation*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/OneWeb_satellite_constellation
- [24] Wikipedia the Free Encyclopedia, *Satellite constellation*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_constellation
- [25] Wikipedia the Free Encyclopedia, *United States Space Surveillance Network*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Space_Surveillance_Network

Mega-Constellations

Nowadays, more than 20,000 artificial objects and debris orbit around the Earth. This number will soon be multiplied because of the mega-constellations. In this article, we examine these effects. We give a review of the main characteristics of mega-constellations and then show some of the major systems and present the main concerns implied by them. We conclude that the current international regulatory environment is inadequate and needs to be reviewed as soon as possible. The updating of the rules on space activities is the fundamental interest of not only all countries but also the players of the sector.

Keywords: satellites, satellite internet, remote sensing, mega-constellations

Dr. Nagy Imre, PhD adjunktus Nemzeti Köszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Természettudományi Tanszék nagy.imre@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0545-4381	Imre Nagy, PhD Assistant Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Natural Sciences nagy.imre@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0545-4381
--	--

Domán László

Katonai helikopterek komplex elektronikai hadviselési önvédelmi rendszereinek értékelése

A katonai helikopterek önvédelmi vagy szűkebb értelemben elektronikai hadviselési rendszerek fejlesztésének és esetleges alkalmazásának előzetes tervezésére és a helikopterek bevetése során a harctéri információ rendelkezésre állására vonatkozó igény egyre magasabb. Számos vállalat készít önvédelmi eszközöket, de ezek gyakran csak részben nyújtanak teljes, átfogó megoldásokat, és így nehéz összehasonlítani is őket. Feltehetően számos ország hadereje és a gyártó-fejlesztő vállalatok már kidolgozták a katonai helikopterek önvédelmi rendszerek elemzéséhez és értékeléséhez a szempontjaik keretrendszerét, hogy azokat főként kvantitatív módon össze lehessen hasonlítani, és katonai, műszaki vagy pénzügyi és gazdasági szempontok alapján rangsorolni. Továbbá meghatározták már a főbb fejlesztési irányokat, amelyek a következők: komplexitás, automatikus, gyors adatátvitel, széles tartományú érzékelés és reagálás, illetve az adott felhasználástól függő egyedi ajánlások bármilyen típusú helikopterhez. Ennélfogva a katonai helikopterek számára az önvédelmi rendszereket egy adott képességi vagy kockázati szintnek megfelelően lehet majd kialakítani. Jelen cikkben a szerző a katonai helikopterek elektronikai hadviselés önvédelmi rendszerek egy lehetséges értékelési folyamatát kívánja bemutatni.

Kulcsszavak: katonai helikopter, elektronikai hadviselés, önvédelmi eszköz, értékelés, összehasonlítás

1. Bevezetés

A helikopterek bevetése egyedülálló előnyökkel jár a hadviselésben, főként a szárazföldi csapatok támogatása során, de pont ez a levegőből végrehajtott csapásmérés teszi őket sebezhetővé is a támadásokkal szemben. Bár a modern katonai helikopterek számos, a közelmúltban elérhető sebezhetőségsökkentési¹ funkcióval rendelkeznek, a konfliktusok is megmutatták, hogy továbbra is kiszolgáltatottak, főleg a korszerű fegyverekkel szemben.

Az elektronikai hadviselés önvédelmi rendszer (EWSP²) használata egyfajta technológiai előny, amely emellett magas szintű harctéri hírszerzést és különféle szenzorok sokaságát is igényelheti.

¹ Vulnerability reduction, sebezhetőségsökkentés.

² Electronic Warfare Self-Protection, elektronikai hadviselés önvédelmi rendszer.

Ezek a megállapítások eltolhatnák a túlélőképességet meghatározó fő elemek közül az érzékenység³ [8] csökkentésére irányuló intézkedéseket az önvédelmi elektronikai hadviselési rendszer alkalmazásától inkább a manőverezőképesség, a légi személyzet kiképzése, a helyzetfelismerés és a harcászat irányába. Ez többek között alátámaszthatja a harctéri hírszerzés, a missziótervezés és az ellenséges légvédelem elnyomásának, megsemmisítésének (SEAD/DEAD⁴) fontosságát.

Korábbi kutatásaim azt igazolják, hogy a korszerű repülőfedélzeti önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek alkalmazásai az olyan típusú országok számára, mint Magyarország nagyon fontosak, hiszen nem feltétlenül rendelkezik azokkal az egyéb tényezőkkel, amelyekkel a rendszer hiányában is tudna hatékonyan működni, például megfelelő harctéri hírszerzés, ellenséges légvédelem elnyomása, a helyzetfelismerést támogató külső rendszerek [8]. Természetesen emellett az is alapvető cél, hogy képességeik és hatékonyságuk növelése mellett a megfelelő működőképességük is biztosítva legyen, ezért a megbízhatóságukra vonatkozó elemzések elvégzése (többféle módszerrel kombinálva) is nélkülözhetetlen [10].

Az érzékenység csökkentése a felderítés, hírszerzés és tervezés révén költséghatékonyabb lehet, mint az elektronikai hadviselés önvédelmi rendszer alkalmazása, bár ez utóbbi még mindig költséghatékonyabb, mint például az Airbus H145M típusú helikopternél a személyzet védelme érdekében – opcionális jelleggel – alkalmazható Kevlar páncél, az öntömítő anyaggal bevont üzemanyagtartályok és üzemanyagcellák és redundáns rendszerek használatával csak a sebezhetőség csökkentése [5]. Emellett a helikopterszemélyzet védelme érdekében használt eszközök, mint például a Ka-52 típusú helikopterek katapultülése vagy az energiaelnyelő struktúra kialakítása [7] is többletkiadásokat róhat a gyártókra.

2. Katonai helikopter elektronikai hadviselési rendszere

Általánosságban elmondható, hogy a repülőfedélzeti önvédelmi elektronikai hadviselési rendszer fő feladata a légi járművek túlélőképességének növelése és az alkalmazási hatékonyságuk javítása a különféle fenyegetések észlelésével és ezek leküzdésével. Idetartozik minden olyan tevékenység és művelet, amely az elektromágneses spektrumot vagy irányítható energiát használja fel az ellenséges erők megtámadására vagy azok támadásainak megakadályozására [30].

Emellett az olcsó, hordozható, vállról indítható rakéták vagy infravörös önirányítású rakéta- (MANPAD-⁵) rendszerek elterjedése miatt, mivel ezek a rakéták már bármilyen konfliktusban megtalálhatók, szükség van az ezek ellen hatékony elektronikai támogatás és ellentevékenység eszközeire is (főleg elektrooptikai és infravörös EO/IR⁶ tartományban).

Az önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerekre vonatkozó követelményeket az egyre komplexebb elektromágneses környezet határozza meg, amelyben működniük kell. Ezekre az eszközökre nemcsak a katonai, hanem a polgári felhasználású elektromágneses sugárzás is hat, ezért az önvédelmi elektronikai hadviselési rendszernek képesnek kell lenni, hogy kezelje

³ *Susceptibility*, érzékenység.

⁴ SEAD/DEAD – *Suppression or Destruction of Enemy Air Defence*, ellenséges légvédelem elnyomása, megsemmisítése.

⁵ MANPAD – *Man-Portable Air Defence System*, hordozható, vállról indítható rakéták vagy infravörös önirányítású rakéták.

⁶ EO/IR – *electrooptic and infrared*, elektrooptikai és infravörös.

ezt a környezetet anélkül, hogy a hamis riasztások aránya megnövekedne. Emellett a városi, a trópusi, a sivatagi és esetleg a sarkvidéki környezetben is működniük kellene.

A helikoptereket érő fenyegetéseket az általános fenyegetéstől függően két fő csoportra oszthatjuk. Az egyik csoport a csúcstechnológiájú eszközök, fegyverrendszerek általi fenyegetések, a másik csoport az alacsony technikai színvonalat képviselő eszközök, amelyeket főleg a kisebb intenzitású helyi konfliktusok és az aszimmetrikus hadviselés során használnak. A veszélyforrások mindkét esetben az infravörös önirányítású MANPAD-rakéták lesznek. A 21. század elején a hadseregekben alapvetően a legegyszerűbb EWSP-eszköz egy olyan rakétatámadásra figyelmeztető rendszerből (MWS⁷) és egy infracsapda-kivetőből állt, amelyet az MWS irányított. Napjainkban ennek a rendszernek már tartalmaznia kellene egy irányítható infravörös ellentevékenységi eszközt (DIRCM⁸-et), amely képes zavarni a rakéták célkoordinátorát. Ennek a rendszernek képesnek kell lennie olyan lézer kisugárzására, amely a rakéták irányító- és célkoordinátor-rendszereit zavarja vagy károsítja.

Emellett a katonai helikopterek számára szükséges lehet egy nagy felbontású lézerbesugárzás-jelző (LWR⁹), amely érzékeli a magas lézerjel-koncentrációt.

Általában elmondható lenne, hogy az alacsony intenzitású katonai műveletek nem követelik meg sem a radarbesugárzás-jelzőt (RWR¹⁰), sem a rádiófrekvenciás zavarókat, azonban a konfliktusok intenzitásának és komplexitásának növekedése miatt megjelenik az igény az ilyen eszközök iránt is. A radarbesugárzás-jelzők alkalmazásának kettős célja és előnye van, egyszer mint önvédelmi eszköz, máskor mint felderítő berendezés is működhet.

Az igények kombinálása az önvédelem és a felderítés számára is előnyös. Az RWR fő hátránya az alacsony megbízhatósága és ebből következően a hamis riasztások nagy száma, ami miatt a személyzet elveszíti a rendszerbe vetett bizalmát.

A fenyegetés elkerülésének és ezáltal a túlélőképesség növelésének része a hírszerzésen és felderítésen alapuló feladattervezés, és annak a képessége, hogy a repülési útvonalat folyamatosan figyelve, amennyiben szükséges, az azonnal újratervezhető legyen.

Ezekről függetlenül a kis kaliberű fegyverek, a kézi működtetésű (vállról indítható) rakéták (például RPG¹¹), manuális irányítású (például ZSU-23-2) és önjáró légvédelmi úgynevezett SPAAG¹² (például ZSU-23-4 Shilka) vagy SPAD¹³-rendszerek (például SA-19 Grison) is fenyegetést jelenthetnek. Ezek ellen a földfelszín adta adottságok megfelelő kihasználásával, a folyamatos mobilitás alkalmazásával és a légvédelem elnyomásával lehet védekezni.

A légi járműveket az alábbi technológiai szintű hatások érhetik: elektro-optikai, rádiófrekvenciás eszközök mellett vizuális vagy akusztikus felderítés és követés. A vizuális és akusztikus felderítés ellen nincs hatékony EWSP-rendszer, ezért itt ezt figyelmen kívül lehet hagyni.

Az infravörös érzékelők számos rakéta irányítórendszerében megtalálhatók. Ezen érzékelők előnyei a passzív működés és a nagy felbontás. Egyik gyengeségük, hogy nem képesek a cél távolságának adatait biztosítani. A másik, hogy megbízhatósága erősen függ a légköri

⁷ MWS – *Missile Warning System*, rakétatámadásra figyelmeztető rendszer.

⁸ DIRCM – *Directed Infrared Countermeasure*, irányítható infravörös ellentevékenységi.

⁹ LWR – *Laser Warning Receiver*, lézerbesugárzás-jelző.

¹⁰ RWR – *Radar Warning Receiver*, radarbesugárzás-jelző.

¹¹ RPG – oroszul: РПГ – *Ручной Противотанковый Гранатомёт*, kézi páncéltörő rakéta.

¹² SPAAG – *Self-Propelled Anti-Aircraft Gun*, önjáró légvédelmi ágyú.

¹³ SPAD – *Self-Propelled Air Defence System*, önjáró légvédelmi rendszer.

viszonyoktól. Nagyobb távolságok esetén már a rádiófrekvenciás szenzorral rendelkező fegyvereket használják.

A lézerfenyegetések különféle távolságmérők és lézer-célmegjelölők lehetnek. Általában, mivel az ilyen rakétáknál az érzékelők a hátsó részben vannak elhelyezve, ezért nagyon nehéz őket zavarni, és emellett az alacsony jelszintű irányító lézernyaláb is nehezen érzékelhető.

Rádiófrekvenciás tartományban a passzív ESM¹⁴ és SIGINT¹⁵-eszközök közvetett fenyegetést jelentenek a helikopterekre, és emiatt kell foglalkozni az LPI¹⁶-technikákkal, ami főként kibocsátáscsökkentést és emellett egyéb eljárásokat is jelenthet.

„Minden ECM¹⁷ rendszert úgy kell megtervezni, az adott védendő repülőgépet fenyegető veszélyt hárítsa el, és nem az összes használatban lévő radar ellen nyújtson védelmet” [50, p. 122].

Eszerint a helikopter önvédelmi elektronikai hadviselési rendszer számára az a központi kérdés, hogy melyik radarrendszert vesszük számításba. Az adott korszak radarjai miatt az EWSP-gyártók, mindig ezek kisugárzására fókuszáltak. Ez azonban ellentmond annak az általános fenyegetésekkel kapcsolatos nézetnek, amely szerint a modern helikopter önvédelmi elektronikai hadviselési eszköz lényegében nem köthető egy adott harctéri körülményhez. Például a nagy hatótávolságú felderítő radarok általában nem jelentenek veszélyt a helikopterekre [20], [32].

3. Értékelési módszer

Az értékelési módszer kialakítása során egy kritérium-keretrendszert dolgoztam ki, amely tartalmazza az összes fontos szempontot és alszempontot, illetve magát az értékelési folyamatot.

3.1. Szempontok keretrendszere

A kidolgozási folyamat során, egy régebbi publikációmban elemzett adatokat is felhasználva [9] meghatároztam egy katonai helikopter komplex önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinek legfontosabb jellemzőit, szempontjait, figyelembe véve a hordozó platform, vagyis a katonai helikopterek várható felhasználási körülményeit [29], [31], [45].

Egy korábbi cikkemben már részleteztem a légi jármű önvédelmi rendszer és elektronikai hadviselés kapcsolatát [8], amelynek nyilvánvalóan része az elektronikai védelem is, azonban az eltérő funkciók miatt a fejlesztő-gyártó vállalatok a helikopterek elektronikai hadviselési rendszereinél főként csak az elektronikai támogatás és esetleg a támadás képességeket veszik figyelembe. Az elektronikai védelmet, úgymint hőképcsökkentő eszközök vagy radarhullám-elnyelés alkalmazását, speciális sárkányszerkezet kialakítását (a csökkentett visszaverődés érdekében), elektronikai lábnyom csökkentését vagy a zavarvédett, rejtjelezett kommunikáció kialakítását egyéb rendszerek és megoldások biztosítják. Emiatt a harcászati tulajdonságoknál az elektronikai védelem képességet értelemszerűen nem vettem figyelembe. A keretrendszer

¹⁴ ESM – *Electronic Support Measures*, elektronikai támogatás.

¹⁵ SIGINT – *Signals Intelligence*, jelfelderítés.

¹⁶ LPI – *Low Probability of Intercept*, elfogás alacsony valószínűsége.

¹⁷ ECM – *Electronic Countermeasure*, elektronikai ellentévékenység (támadás).

kialakításánál az alábbi szempontokat és alszempontokat alakítottam ki, figyelembe véve a korábbi kutatások eredményeit [20], [27], [28]:

- harcászati tulajdonságok (kéességek):
 - besugárzásjelzés (lézer);
 - besugárzásjelzés (radar – legalább 2–40 GHz között, NATO E sávától a K sávig, vagy IEEE¹⁸ S sávától K_a sávig);
 - rakétaindításra figyelmeztetés (ultraviola tartományban);
 - komplex passzív zavarás (dipól és infracsapda kilövésre is alkalmas);
 - aktív zavarás (IR) – fejlettebb irányítható infravörös zavarásra képes (DIRCM¹⁹ alkalmazása);
 - aktív zavarás (radar) – digitális rádiófrekvencia memóriát (DRFM²⁰) alkalmaz;
- műszaki (technikai) tulajdonságok:
 - kis méretű;
 - alacsony antenna reflexiójú;
 - nagy sebességű adatbuszt alkalmazó (például MIL STD²¹ 1553 szerintit);
 - bővíthető;
 - moduláris;
 - automatizált (kézi, félautomata és automata üzemmóddal is rendelkezik);
 - komplex;
 - 360°-os érzékelésű a horizontális síkban;
 - legalább 90°-os érzékelésű a MWS-, 80°-os érzékelésű a RWS- és 50°-os érzékelésű a LWS-rendszernél vertikális síkban;
 - alacsony számú hibás besugárzásjelzésű (véletlen riasztások alacsony szintűek);
 - éjjellátó eszközzel (NVG²²) együttműködő;
 - nagy zavarvédetségű;
 - nagy észlelési (érzékelési) képességű (legalább 98%);
- üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók:
 - meghibásodások közötti idő nagy (MTBF²³ > 1000);
 - egyszerű és gyors hibabehatárolás;
 - a típus és légi alkalmassági bizonyítványok, rendszerintegráció (validáció és verifikáció) megléte;
 - kompakt kialakítás;
- pénzügyi mutatók:
 - alacsony beszerzési ár;
 - alacsony a fenntartási költség;
 - logisztikai ellátottság egyszerűen és gyorsan biztosítható.

¹⁸ IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers, villamosmérnököket egyesítő nemzetközi szervezet.

¹⁹ DIRCM – Directional Infrared Counter Measures, irányítható infravörös ellentevékenység.

²⁰ DRFM – Digital Radio Frequency Memory, digitális rádiófrekvencia memória.

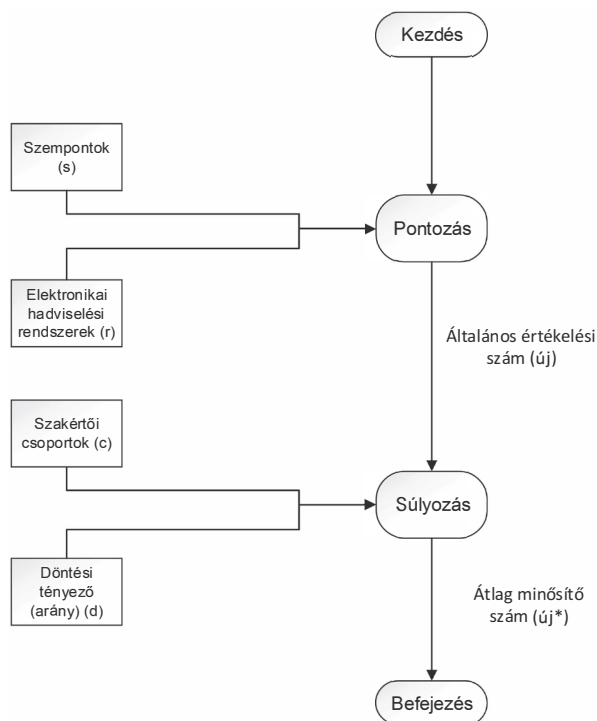
²¹ MIL STD – Military Standard, amerikai katonai szabvány.

²² NVG – Night Vision Goggles, éjjellátó eszköz.

²³ MTBF – Mean Time Between Failures, a meghibásodások között átlagosan eltelt idő.

3.2. Az értékelés folyamata

Az értékelést több lépésben hajtottam végre, ennek folyamata az 1. ábrán látható. Először összehasonlítottam a katonai helikoptereken alkalmazott önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereket a kialakított szempontok szerint, amelynek a végén megkaptam az általános értékelési számot. Miután azonosítottam és definiáltam a döntésekben részt vevő szakértői csoportokat és azok érdekérvényesítő képességét (arányát) a többi csoporthoz képest, kiszámítottam az átlagos értékelési számot, ami nyilvánvalóan már személyes preferenciákat is tartalmazott.



1. ábra
Értékelési folyamat [a szerző szerkesztése]

Az elemzés során MCA²⁴-módszert használtam [19], [47], mert ez egyértelmű és jól összehasonlítható eredményt ad. Ez a módszer könnyen számítható és széles körben elterjedt. Pontozáson (általános értékelési szám) és súlyozáson (átlagos minősítő szám) alapulnak. Intervallumskála-alapú pontozási módszert választottam, ahol a cél az volt, hogy összehasonlítást adjon az elektronikai hadviselési önvédelmi rendszerek között. A súlyozás azért szükséges, hogy figyelembe lehessen venni a szakértői csoportok, értékelők preferenciáit az adott szempontok szerint [26].

²⁴ MCA – Multi-Criteria Analysis, többtényezős elemzés.

A módszer előnyei a következők:

- a módszer legfontosabb előnye a bonyolultabb körülmények egyszerűsítésének lehetősége, erre átlátható módon nyújt megoldást;
- a módszer könnyű és érthető, emiatt a folyamat egyszerű;
- az MCA racionális, ami azt jelenti, hogy számos szempontból homogén eredményt ad, ezért az eredmények könnyen összehasonlíthatók.

A kiválasztott EWSP-rendszereket (önvédelmi elektronikai hadviselési eszközök) (r) egy 0–10 értékű skálán értékeltem, figyelembe véve az adott szempontok (s) és ezen belül az alszempontok szerinti viszonyukat. Minden önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerhez tartozik egy I értékelési szám. Az értékelő számokból egy $S \times R$ méretű értékelési mátrixot alakítottam ki, amelyben az elemek jelölése: q_{sr} . Összegezve a szempontokhoz (alszempontokhoz) adott értékelési számokat, minden értékelt önvédelmi elektronikai hadviselési rendszer számára (f_r) egy általános értékelési szám adható meg.

$$f_r = \sum_{s=1}^S q_{sr} \quad (1)$$

ahol:

- s – szempontrendszer s -edik eleme, $s = 1 - S$;
- r – önvédelmi elektronikai hadviselési rendszer r -edik eleme, $r = 1 - R$;
- q_{sr} – értékelő mátrix elemei;
- f_r – általános értékelő szám az r -edik önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerekhez.

Ezek az értékek már önmagukban is hasznosak, de nem veszik kellőképpen figyelembe a rendszerek közötti különbségeket és az egyes szakértői csoportok eltérő preferenciáit. Mivel az önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek bizonyos képességeihez szükséges értékek megbecslése jelentősen függ a szakértők véleményétől, ezért különböző szakértői csoportokat hoztam létre, amelyek tagjai a Magyar Honvédségben elfoglalt beosztásuk alapján logisztikai, repülőműszaki, helikopter- (repülő-) személyzet, hadműveleti, elektronikai hadviselés és pénzügy területeken szolgálnak.

A szakértők felosztása:

- logisztika (fenntartás, üzemben tartás);
- repülő műszaki (üzemeltetés, hatósági, oktatói);
- hadműveleti;
- helikopterszemélyzet (hajózó);
- elektronikai hadviselés;
- pénzügy (beszerzés, gazdálkodás).

A szakértői csoportok e hat terület és egyben nézőpont kombinációjával jöttek létre. Minden szakértői csoporthoz és szemponthoz tartozik súlyszám, úgynevezett preferenciaértékek (w_{cs}), amelyek egy $C \times S$ méretű súlymátrixot alkotnak. A mátrix elemeinek értéke kis létszámú szakértői csoportok esetén (területenként 1–2 fő) részletes kérdezéssel, mélyinterjúkkal (kvalitatív kutatás) vagy nagyobb létszámú szakértői csoportokat figyelembe véve, kérdőíves módszer segítségével (kvantitatív kutatás), vagy mindkettő kombinációjával is meghatározható.

Az $S \times R$ méretű értékelési mátrixból és a $C \times S$ méretű súlymátrixból a $C \times R$ méretű minősítő mátrix állítható elő, amely figyelembe veszi a szakértői csoportok eltérő preferenciáit.

A minősítő elemeit (f_{cr}) a következő módszerrel számítottam ki. Az összegzett szorzatot, amely az értékelési mátrix (q_{sr}) r oszlopa és a súlymátrix (w_{cs}) c sora elemeinek szorzata, elosztom a megadott maximális értékek q_s^{max} és a megfelelő súlyozás összesített szorzatával.

$$f_{cr} = \frac{\sum_{l=1}^l w_{cs} * q_{sr}}{\sum_{s=1}^S w_{cs} * q_s^{max}} \quad (2)$$

ahol:

- c – szakértői csoportok c -edik eleme, $c = 1 - C$, $\sum_{s=1}^S w_{cs} = 1$
- w_{cr} – a súlymátrix elemei,
- q_s^{max} – a maximálisan adható értékelési szám az s -edik szempont szerint,
- f_{cr} – a minősítő mátrix elemei.

A katonai helikopterek komplex önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinek minősítő értékeinek (f_{cr}) és a várható arányának (d_c) ismeretében meghatározható az átlagos minősítő szám (f_r^*), amely minden szakértőre vonatkozik, és figyelembe veszi a szakértők speciális elvárásait.

$$f_r^* = \sum_{c=1}^C d_c * f_{cr} \quad (3)$$

ahol:

- d_c – a c -edik szakértői csoport várható döntési aránya,
- f_r^* – átlagos minősítő szám az r -edik komplex önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerhez.

4. A katonai helikoptereken jelenleg alkalmazott önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek értékelése és összehasonlítása

Az elemzés során olyan önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereket választottam, amelyeknél az azokat fejlesztő-gyártó vállalatok piacvezetők, és termékeik vagy széles körben elterjedtek, vagy újszerű technikai megoldásokkal rendelkeznek. Megvizsgáltam ezen eszközök erősségeit és gyengeségeit is. A több szempontú értékeléssel meghatároztam az értékelési számokat és a súlyszámokat. Végezetül a katonai helikoptereken alkalmazott(ható) önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereket rangsoroltam a megadott átlagos selejtező számok alapján.

4.1. Önvédelmi elektronikai hadviselési eszközök rangsorolása, osztályozása

14 különböző önvédelmi elektronikai hadviselési rendszert fejlesztő-gyártó vállalat terméket elemeztem, amelyeket katonai helikopterek, ezen belül főként, de nem kizárólag harczi helikopterek számára kínálnak. A kiválasztott eszközöket a korábban megadott szempontok szerint elemeztem. A pénzügyi szempontokat itt részletesen nem vizsgáltam, hiszen ezekről

egyébként sincs konkrét információ, és az eszközök ára is nagyon hasonló, de mindig az adott beszerzendő eszközök darabszámától, képességi szintjétől és politikai érdektől is függ, amit nem lehet számszerűsíteni.

A piaci részesedésüket, a termékeik elterjedtségét [40] és korszerűségét figyelembe véve az alábbi vállalatok termékeit elemeztem:

- az amerikai egyesült államokbeli Northrop Grumman Corp. (Orbital ATK) termékei:
 - AN/APR-39D(V)2 radarbesugárzás-jelző (RWS), AN/AAQ-24(V) irányítható infravörös ellentevékenységi eszköz (DIRCM), AN/AAR-47B(V)2 w/HFI lézerbesugárzás-jelző és rakétatámadásra figyelmeztető (LWS és MWS) [11], [12], [43], [44];
- az amerikai egyesült államokbeli Lockheed Martin Corp. termékei:
 - AN/APR-52 radarbesugárzás-jelző (RWS), AN/ALQ-210 elektronikai támogató eszköz, AN/APR-48B radarbesugárzás-jelző [37], [38], [39];
- a nagy-britanniai BAE Systems termékei:
 - ALQ-239 digitális elektronikai hadviselési rendszer (DEWS²⁵), AN/AAR-57 rakétatámadásra figyelmeztető (CMWS²⁶), AN/ALQ-212 Eloka, ALE-47 infracsapda-kivető (ACMDS²⁷), AN/ALQ-144 infravörös ellentevékenységi eszköz (ICS²⁸), Optikai elektronikai hadviselési rendszer (OEWS²⁹), OT-225 infravörös ellentevékenységi rendszer (ATIRCM³⁰) [3], [4];
- a török Aselsan vállalat termékei:
 - helikopter elektronikai hadviselési önvédelmi rendszer (HEWS³¹) [2];
- az izraeli Elbit Systems Ltd. termékei:
 - Elisra Elektronikai hadviselési rendszer [14];
- az izraeli Aerospace Industries Association termékei:
 - ELM-2160 rakétatámadásra figyelmeztető rendszer (MWS), ELL-8260 önvédelmi és elektronikai hadviselési rendszer, ELL-8265 radarbesugárzás-jelző (RWS) [23], [24], [25];
- a francia Thales Group. Ltd. termékei:
 - SPS-H v2 integrált önvédelmi rendszer helikopterek részére [49];
- a dán Terma A/S termékei:
 - moduláris repülő fedélzeti túlélőképességet biztosító felszerelés (MASE³²) [48];
- a svájci Ruag Holding AG termékei:
 - integrált önvédelmi rendszer (ISPS³³) [46];

²⁵ DEWS – *Digital Electronic Warfare System*, digitális elektronikai hadviselési rendszer.

²⁶ CMWS – *Common Missile Warning System*, rakétatámadásra figyelmeztető rendszer.

²⁷ ACMDS – *Airborne Counter Measures Dispenser System*, repülőfedélzeti dipól/infracsapda-kilövő rendszer.

²⁸ ICS – *Infrared Countermeasures Set*, infravörös ellentevékenységi eszköz.

²⁹ OEWS – *Optical Electronic Warfare Systems*, optikai elektronikai hadviselési rendszer.

³⁰ ATIRCM – *Advanced Threat Infrared Countermeasures*, fejlett infravörös ellentevékenységi eszköz.

³¹ HEWS – *Helicopter Electronic Warfare Self Protection System*, helikopter elektronikai hadviselési önvédelmi rendszer.

³² MASE – *Modular Aircraft Survivability Equipment*, moduláris repülő fedélzeti túlélőképességet biztosító felszerelés.

³³ ISPS – *Integrated Self-Protection System*, integrált önvédelmi rendszer.

- az olasz LEONARDO SPA termékei:
 - helikopter integrált védelmi rendszer (HIDAS³⁴), MIYSIS irányítható infravörös ellentévékenység rendszer (DIRCM), SEER radarbesugárzás-jelző [33], [34], [35], [36];
- az olasz ELT termékei:
 - ELT/572 irányítható infravörös ellentévékenység eszköz (DIRCM), ELT/160 radarbesugárzás-jelző (RWS), ELT/741 elektronikai támogató eszköz, ALR-733 elektronikai támogató eszköz [15], [16], [17], [18];
- a német HENSOLDT AG termékei:
 - repülőfedélzeti rakétatámadás elleni védelmi rendszer (AMPS³⁵) [22];
- az orosz Concern Radio-Electronic Technologies (KRET) termékei:
 - Vityebszk L370 (President-S) helikopter önvédelmi rendszer [13], [21], [41], [42];
- a kínai termékek:
 - YH-96 helikopter önvédelmi rendszer [1].

4.2. Kiemelkedő funkciók és a legjobb megoldások

A korábban megadott szempontokat vizsgálva az összes esetében elmondható, hogy a műszaki technikai tulajdonságok egy-két apróságtól eltekintve nagyon hasonlóak, a Lockheed, YH-96, Elt, Terma, Ruag, KRET rendszereinél a gyártók egész egyszerűen nem hoznak nyilvánosságra minden technikai adatot (lehet, hogy a rendszerek egyébként tudják, azt, amit a többi is), ezért ezeknél a termékeknél alacsonyabb lett az értékelési pontszám.

A harcászati tulajdonságoknál kiemelkedő termékek a BAE, Leonardo eszközei. E gyártók termékei szinte az összes harcászati képességet biztosítják, amit egy katonai helikopteren alkalmazott önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerrel szemben támasztottam. A többi gyártó esetében csak a rendszerek valamilyenfajta kombinációjából érhetünk el teljes képességet, de ez esetben a helikopterünkön a rendszerek integrálását (validáció, verifikáció) is meg kellene utólag valósítani, ami számos egyéb kérdést vet fel. A különböző gyártók termékei közötti kompatibilitási (szoftveres, hardveres) problémákat ki kellene küszöbölni, ami nem mindig lehetséges. Például a Magyar Honvédség nagyjavított Mi-24 típusú helikopterek kommunikációs rendszereinél végrehajtott magyar fejlesztés során is szembesültünk ilyen gondokkal [6]. Emellett a különböző földrészekben, országokban található gyártók eltérő politikai, gazdasági, katonai érdekei miatt a termékek logisztikai ellátása bizonytalanra válhat.

Az üzemeltethetőségi mutatók nagy hasonlóságot mutatnak, azonban van két gyártó a YH-96 és a Ruag, ahol nagyon kevés információ állt rendelkezésre, ezért ők a legalacsonyabb pontszámokat kapták.

A pénzügyi mutatókat nehéz elemezni, mert nem áll rendelkezésre konkrét adat, azonban megállapítottam, hogy a Hensoldt terméke lehet ebben az esetben a Magyar Honvédség számára a legjobb, hiszen a korábban beszerzett Airbus H145M helikopterek is ilyen eszközökkel vannak felszerelve. Azokat a berendezéseket pedig már rendszeresítették, a hajózó és a műszaki állomány kiképzése is folyamatos. A Terma termékét még külön kiemelném,

³⁴ HIDAS – *Helicopter Integrated Defensive Aids System*, helikopter integrált védelmi rendszer.

³⁵ AMPS – *Airborne Missile Protection System*, rakétatámadásra figyelmeztető rendszer.

mivel az külső függesztményű konténeres (Pylon vagy Pod) megoldást alkalmaz, tehát nem kell a helikoptert annyira megbontani, egyszerűbb a felszerelése, mivel csak a használat előtt kell a konténert felszerelni. Így jelentős időt és energiát (anyagi forrásokat) lehet nyerni az EWSP-rendszer felépítése során.

A legjobb megoldásokat az 1. és 2. táblázatban emeltem ki.

1. táblázat
Kiemelkedő megoldások [a szerző szerkesztése]

Rendszer (termék)	Northrop Grumman	Lockheed Martin	BAE	Aselsan	Elbit	IAI	YH-96
harcászati tulajdonságok			x				
műszaki (technikai tulajdonságok)	x	x	x	x	x	x	x
üzemeltethetőségi mutatók						x	
pénzügyi mutatók							

2. táblázat
Kiemelkedő megoldások [a szerző szerkesztése]

Rendszer (termék)	Vityebszk L370	HENSOLDT	Leonardo	Elt	Ruag	Thales	Terma
harcászati tulajdonságok			x				
műszaki (technikai tulajdonságok)	x	x	x	x	x	x	x
üzemeltethetőségi mutatók		x					x
pénzügyi mutatók		x					x

4.3. Önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek értékelése

Jelen publikáció lehetőségeit meghaladja, hogy az összes előző fejezetben leírt terméket minden szempontból külön-külön részletesen bemutassak, itt a fő cél a módszer alkalmazásának, illetve használhatóságának a bemutatása volt.

Az értékelési számokat a 3. és 4. táblázat mutatja be és foglalja össze. A sorok az (s) szempontokat (az alszempontok értékeinek összegzése után), az oszlopok pedig a választott önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereket (r) képviselik. Az önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek általános értékelési száma (f_r) az értékelési mátrix elemeinek (q_{sr}) oszloponkénti összegzésével számoltam.

3. táblázat
Önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek általános értékelési számai [a szerző szerkesztése]

Rendszer (termék)	Northrop Grumman	Lockheed Martin	BAE	Aselsan	Elbit	IAI	YH-96
harcászati tulajdonságok (alszempontok értékelését összegezve)	40	20	50	50	40	50	40
műszaki-technikai tulajdonságok (alszempontok értékelését összegezve)	145	145	150	139	142	142	136
üzemeltethetőségi mutatók (alszempontok értékelését összegezve)	27	27	27	26	26	26	24
pénzügyi mutatók (alszempontok értékelését összegezve)	10	11	13	11	11	11	1

4. táblázat

Önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek általános értékelési számai [a szerző szerkesztése]

Rendszer (termék)	Vityebszk L370	HENSOLDT	Leonardo	Elt	Ruag	Thales	Terma
harcászati tulajdonságok (alszempontok értékelését összegezve)	50	40	60	20	40	40	40
műszaki-technikai tulajdonságok (alszempontok értékelését összegezve)	139	142	145	138	138	138	137
üzemeltethetőségi mutatók (alszempontok értékelését összegezve)	32	26	26	26	26	26	26
pénzügyi mutatók (alszempontok értékelését összegezve)	1	23	16	16	16	16	20

Egyéb megfontolások miatt a táblázatban csak az alszempontok összesített értékeit jelenítettem meg, és az egyes alszempontokra adott értékeket külön-külön nem tüntettem fel. Az értékelésnél a személyes műszaki tapasztalataimra is hagykoztam, hiszen nem minden gyártónál lehet nyílt módon hozzáférni az adatokhoz, és emiatt számos értéket csak megbecsülni tudtam, ezért e paraméterek nem feltétlenül tükrözik a valós sorrendet, de annak a felállítását a gazdasági és politikai érdekek miatt egyébként sem lehetne nyíltan elvégezni.

A szakértői csoportok (k) preferenciáinak figyelembevétele érdekében a szempontokhoz súlyszámokat (s_{ki}) osztottam. Ebben a cikkben egy *kvantitatív kutatási módszert választottam a súlyszámok meghatározásához és online kérdőíves felmérést végeztem*, ahol 40 résztvevővel egy kéthetes intervallumban kikérdezést végeztem a katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinek fő és alszempontjaira (jellemzőire) vonatkozóan. A szakértői csoportok közötti megoszlást tekintve a legtöbb kitöltő repülőműszaki (26%) és repülőszemélyzet (21%), a többi csoport aránya pedig nagyon hasonló (11–16%) volt.

A felmérés első része olyan kérdéseket tartalmazott, amelyek a kikérdezettek beosztására (logisztika, repülőműszaki, helikopterszemélyzet, hadműveleti, elektronikai hadviselés és pénzügy) vonatkoztak. Ezen adatok alapján őket a korábban bemutatott hat szakértői csoportba osztottam. A kérdőív második részében egy külön kérdés során a résztvevők rangsorolták 1–4-ig a fő szempontokat aszerint, hogy általánosságban mennyire tartják fontosnak ezeket a szempontokat. Azaz a legfontosabbnak tartott fő szempont kapott 4-es értéket, míg a legkevésbé fontos fő szempont 1-es értéket. A kérdőív további része az alszempontokra fókuszált. A válaszadás során az egyes alszempontokat sorrendbe kellett tenni, ahol az 1-es érték jelentette a kevésbé preferált, míg a legmagasabb érték a nagyon preferált alszempontot. Az összegzés (az adott szempontokra adott értékelések átlaga) után a kapott súlyszámok (w_{cs}) az 5. táblázatban láthatók.

5. táblázat

Súlyszámok (w_{cs}) [a szerző szerkesztése]

Szempontok [S] / Szakértői csoportok [C]	Harcászati tulajdonságok	Műszaki (technikai) tulajdonságok	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	Pénzügyi mutatók
Repülőszemélyzet	0,375	0,2625	0,2625	0,1
Repülőműszaki (pl. üzemeltetés, hatóság, oktatás)	0,31	0,25	0,29	0,15

Szempontok [S] / Szakértői csoportok [C]	Harcászati tulajdonságok	Műszaki (technikai) tulajdonságok	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	Pénzügyi mutatók
Pénzügyi, gazdasági (pl. beszerzés, gazdálkodás)	0,24	0,2	0,16	0,4
Logisztika (pl. légijármű-fenntartás, üzemben tartás)	0,3333	0,2666	0,3	0,1166
Hadműveleti	0,38	0,18	0,24	0,2
Elektronikai hadviselés (pl. oktatás, üzemeltetés)	0,36	0,32	0,18	0,14

A szakértői csoportok döntési szerepét és lobbierjét egységesnek vettem. A döntések és ezáltal az érdekvényesítési képességek beszerzési eljárásokként változhatnak. Jelen publikációban hat szakértő csoportot alakítottam ki, és mivel ebből a szempontból a személyes preferencia és tapasztalat alapján a csoportok szerepét egyenlőnek ítélt meg, ezért az (d_c) értéke 1/6, azaz 0,1666 lett. Természetesen ez az érték egy konkrét fejlesztés (termékbeszerzés) megvalósítása esetén eltérő lesz (lehet).

A súlysúlyszámok (w_{cs}) és a szakértői csoportok várható döntési arányainak (d_c) figyelembevételével kapott átlag minősítő számokat (f_r^*) és azok önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerenként összesített pontjait a 6. és a 7. táblázat mutatja be és foglalja össze.

6. táblázat

Önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek átlag minősítő számai [a szerző szerkesztése]

Rendszer (termék)	Northrop Grumman	Lockheed Martin	BAE	Aselsan	Elbit	IAI	YH-96
Repülőszemélyzet	0,1163973	0,09612	0,129847	0,124635	0,115039	0,125455	0,105655
Repülőműszaki (pl. üzemeltetés, hatóság, oktatás)	0,1131655	0,09677	0,125571	0,119832	0,112002	0,120613	0,09969
Pénzügyi, gazdasági (pl. beszerzés, gazdálkodás)	0,0970933	0,085983	0,111468	0,104065	0,098024	0,10469	0,073219
Logisztika (pl. légijármű-fenntartás, üzemben tartás)	0,1175241	0,099656	0,130114	0,124514	0,116089	0,125347	0,105445
Hadműveleti	0,1075165	0,087517	0,122342	0,117058	0,107065	0,11762	0,09283
Elektronikai hadviselés (pl. oktatás, üzemeltetés)	0,1163565	0,097135	0,130356	0,124384	0,115384	0,125384	0,104107
Összesítve:	0,6680532	0,563182	0,749698	0,714487	0,663603	0,719109	0,580947

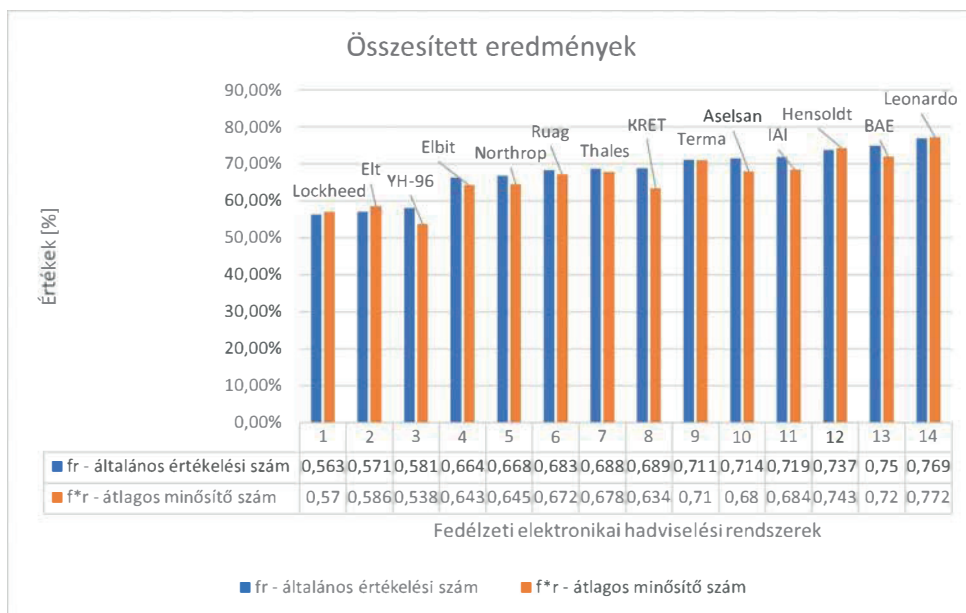
7. táblázat

Önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek átlag minősítő számai [a szerző szerkesztése]

Rendszer (termék)	Vityebszk L370	HENSOLDT	Leonardo	Elt	Ruag	Thales	Tterma
Repülőszemélyzet	0,125642	0,121705	0,09895	0,095335	0,115629	0,116723	0,118671
Repülőműszaki (pl. üzemeltetés, hatóság, oktatás)	0,118749	0,122002	0,1341717	0,097073	0,113919	0,115127	0,1182

Rendszer (termék)	Vityebszk L370	HENSOLDT	Leonardo	Elt	Ruag	Thales	Tterma
Pénzügyi, gazdasági (pl. beszerzés, gazdálkodás)	0,085844	0,124689	0,1230923	0,092746	0,108301	0,107635	0,116981
Logisztika (pl. légijármű-fenntartás, üzemben tartás)	0,125536	0,123862	0,1386766	0,099053	0,116967	0,118217	0,12053
Hadműveleti	0,111947	0,120398	0,1342932	0,089649	0,110871	0,111871	0,116127
Elektronikai hadviselés (pl. oktatás, üzemeltetés)	0,121106	0,124717	0,1402722	0,097163	0,11719	0,11794	0,120717
Összesítve:	0,688823	0,737374	0,7694561	0,571019	0,682877	0,687512	0,711228

A 2. ábrán jól látható, hogy a súlyszámok (átlagos minősítő szám) hogyan befolyásolták az általam értékelt önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereket (általános értékelési szám). Látható, hogy az általam adott pontszámok alapján a Leonardo, Bae és a Hensoldt vizsgált termékei végeztek a képzeletbeli verseny dobogóján. A szakértők preferencia-sorrendjéből számított súlyszámok ezt nem befolyásolták, az csak a köztük lévő sorrenden változtatott. Azonban a többi eszközt is megvizsgálva látható, hogy a súlyszámok változtattak az általam adott sorrenden.



2. ábra
Összesített eredmények [a szerző szerkesztése]

Egyébként a súlyszámok kiszámítása más módszerrel is történhet, hiszen összességében nem biztos, hogy az egyes szempontokra vagy alszempontokra adott válaszok alapján konzisztens eredményt kaptam, ezért egy másik módszert felhasználva konzisztensebb eredményt kaphatunk.

A többszempontú döntési módszer³⁶ (MCDM) kiválasztására általános, egyértelmű szabály nem található a szakirodalomban (ez is döntési feladat), a konkrét probléma ismeretében lehetséges a legmegfelelőbb módszer meghatározása.

5. Összegzés

Az önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerek fejlesztését a technológiai fejlődés és a katonai helikopterek túlélőképesség-növelésének igénye vezérli.

Ebben a cikkben áttekintettem a jelenleg a katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszerét és a lehetséges veszélyforrásokat és kockázatokat, majd foglalkoztam a lehetséges funkciókkal, és meghatároztam az értékelési szempontok keretrendszerét.

Kidolgoztam egy értékelési módszert, amelynek alkalmazásával több, jelenleg alkalmazott korszerű önvédelmi elektronikai hadviselési rendszert minősítettem és hasonlítottam össze, majd ennek alapján rangsoroltam őket.

A szakértői csoportok preferenciáinak megfelelő eredményeket súlyoztam, és így egy összehasonlítható, úgynevezett átlagos minősítő számot hoztam létre. Ezt követően értékeltem a kapott eredményeket. Az eredményekből látható, hogy a súlyszámok hogyan befolyásolták az én értékelésemet. A súlyozást célszerű lehet egy másik, például páros összehasonlításokon alapuló, például Fuzzy AHP³⁷ vagy egyéb több szempontú döntési módszert felhasználva is elvégezni.

Felhasznált irodalom

- [1] Air Recognition, *WZ-10 or Z-10 Attack helicopter*. Online: www.airrecognition.com/index.php/world-air-force-military-equipment-aircraft-/asia-air-force-countries-aircraft-military-equipment/china-chinese-pla-plaaf-air-force/china-chinese-air-force-helicopters-data-sheet-specifications-pictures-video/560-z
- [2] Aselsan, *HEWS – Helicopter Electronic Warfare Self Protection System*. Online: www.aselsan.com.tr/en/capabilities/electronic-warfare-systems/electronic-warfare-self-protection-systems/helicopter-electronic-warfare-system-hews www.aselsan.com.tr/HEWS_Helicopter_Electronic_Warfare_Self_Protection_System_3748.pdf
- [3] BAE Systems, *ALQ-239 Digital Electronic Warfare System (DEWS)*. Online: www.baesystems.com/en-us/product/digital-electronic-warfare-system-dews
- [4] BAE Systems, *Electronic Warfare*. Online: www.baesystems.com/en-us/productfamily/electronic-warfare

³⁶ MCDM – *MultiCriteria Decision Making*, többszempontú döntési módszer.

³⁷ AHP – *Analytical Hierarchy Process*, analitikus hierarchikus eljárás.

- [5] Domán L., „Az Airbus H145M helikopter és a túlélőképesség,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 1. sz. pp. 85–102. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.8>
- [6] Domán L., „A nagyjavított Mi-24 típusú helikopterek kommunikációs eszközeinél történt fejlesztés megvalósítása,” *Katonai Logisztika*, 28. évf. 3. sz. pp. 8–19. 2020. Online: http://epa.oszk.hu/02700/02735/00092/pdf/EPA02735_katonai_logisztika_2020_03_008-019.pdf
- [7] Domán L., „Helikopterek speciális vészelhagyási eszközei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 1. sz. pp. 51–66. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.3>
- [8] Domán L., „Helikopterek túlélőképességét befolyásoló tényezők elemzése,” *Katonai Logisztika*, 28. évf. 1–2. sz. pp. 131–150. 2020. Online: <https://doi.org/10.30583/2020/1-2/131>
- [9] Domán L., „A Mi-24 elektronikai hadviselési képességei és fejlesztési lehetőségei,” in *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből II.*, Hausner Gábor szerk. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2021, pp. 99–115. Online: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/16208/905_KDMI_II_hallgatoi_tanulmánykotet.pdf
- [10] Domán L., Pokorádi L., Szilvássy L., „Repülésszükszók idegen-barát felismerésének kockázatát befolyásoló tényezők ok-okozati elemzése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 3. sz. pp. 15–30. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.3.650>
- [11] Doorway Projects, *Aircraft Survivability Equipment (ASE)*, AN/AAR-47A(V), 2 AN/AAR-47B(V)2, *Missile and Laser Warning Systems*. é. n. Online: www.doorwayprojects.com/doc/AAR-47-Public-Release-07142008-Missile-Warning.pdf
- [12] dote.osd.mil, AN/APR-39D(V)2 *Radar Signal Detection Set (RSDS)*. Online: www.dote.osd.mil/Portals/97/pub/reports/FY2017/navy/2017anapr39.pdf?ver=2019-08-19-113710-303
- [13] S. D'urso, Let's Talk About the Vityebszk L370, the Russian New Generation Directional IR Countermeasure (DIRCM) System. *The Avionist*, 2020. július 8. Online: <https://theavionist.com/2020/07/08/lets-talk-about-the-vitebsk-l370-the-russian-new-generation-directional-ir-countermeasure-dircm-system/>
- [14] Elbit Systems, *Airborne Self-Protection – Elisra*. Online: <https://elbitsystems.com/products/ew-and-sigint/airborne-self-protection/>
- [15] elt, *ALR-733 ESM System*. Online: www.elt-roma.com/storage/app/uploads/public/5c2/f64/382/5c2f643829207125578719.pdf
- [16] elt, *ELT/160 RWR System*. Online: www.elt-roma.com/storage/app/uploads/public/5c2/f63/033/5c2f63033148f542671348.pdf
- [17] elt, *ELT/572 DIRCM System*. Online: www.elt-roma.com/product/elt-572
- [18] elt, *ELT/741 ESM System*. Online: www.elt-roma.com/storage/app/uploads/public/5c2/f62/682/5c2f62682dbe3551191145.pdf
- [19] Esztergár-Kiss D., Csiszár Cs., „Evaluation of Multimodal Journey Planners and Definition of Service Levels,” *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 13. évf. 3. sz. pp. 154–165. 2015. Online: <https://doi.org/10.1007/s13177-014-0093-0>
- [20] J. Heikell, *Electronic Warfare Self-protection of Battlefield Helicopters: A Holistic View*. PhD dissertation, Espoo, Helsinki University of Technology, 2005. Online: <https://indianstrategicknowledgeonline.com/web/isbn9512275465.pdf>
- [21] helis.com, *Russian Helicopter Defence System for Export*. 2016. április 6. Online: www.helis.com/database/news/kret_export
- [22] Hensoldt, *AMPS – Airborne Missile Protection System*. Online: www.hensoldt.net/products/optronics/amps-airborne-missile-protection-system/
- [23] IAI, *ELL-8260 Self-Protection and Compact ESM Suite*. Online: www.iai.co.il/p/ell-8260

- [24] IAI, *ELL-8265 RWL Radar Warning & Locating System For Fixed Wing Aircraft, Helicopters, UAV*. Online: www.iai.co.il/p/ell-8265-rwl
- [25] IAI, *ELM-2160 Flight Guard Missile Approach Warning System*. Online: www.iai.co.il/p/elm-2160-flight-guard
- [26] Kavas L., „A súlyszámok problematikája komplex rendszerek értékelése során,” *Repüléstudományi Közlemények*, Klnsz. pp. 1–7. 2007.
- [27] Kavas L., *Harcászati repülőgép kiválasztásának módszere gazdasági–hatékonysági mutatók alapján, kis létszámú haderő légierejének korszerűsítésére*. Doktori (PhD-) értekezés, Szolnok, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2009.
- [28] Kavas L., „Helikopter típusváltással kapcsolatos gondolatok és a kiválasztást megalapozó elvárások,” *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 1. sz. pp. 93–98. 2013.
- [29] Keszthelyi Gy., „A Mi-24 típusú harci helikopter hatékonysága korunk fegyveres konfliktusaiban II. rész. A harci helikopter alkalmazási környezete,” *Katonai Logisztika*, 27. évf. 4. sz. pp. 11–39. 2019. Online: <https://doi.org/10.30583/2019/4/011>
- [30] Keszthelyi Gy., „A Mi-24 típusú helikopter hatékonysága korunk fegyveres konfliktusaiban III. rész. A helikopter önvédelmi rendszerei és alkalmazási hatékonyságuk,” *Katonai Logisztika*, 28. évf. 4. sz. pp. 5–57. 2020. Online: http://epa.oszk.hu/02700/02735/00093/pdf/EPA02735_katonai_logisztika_2020_04_005-057.pdf
- [31] Koller J., *Helikopterek újszerű alkalmazási lehetőségei többnemzeti alkalmi harci kötelék szárazföldi műveleteinek támogatása érdekében*. Doktori (PhD-) értekezés, Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2012. Online: <https://doi.org/10.17625/NKE.2013.006>
- [32] N. G. Law, *Integrated Helicopter Survivability*. PhD, UK, Cranfield University, 2011. Online: <https://core.ac.uk/download/pdf/140841.pdf>
- [33] Leonardo, *HIDAS – Helicopter Integrated Defensive Aids System*. Online: www.leonardo-company.com/documents/20142/3163211/Helicopter_Integrated_Defensive_Aids_System_HIDAS_ref_mm07737.pdf?t=1542793241981
- [34] Leonardo, *HIDAS for AW159 LYNX*. Online: www.leonardocompany.com/documents/20142/3149369/HIDAS_15_LQ_mm07744_.pdf?t=1538987440383
- [35] Leonardo, *MIYSIS DIRCM Directed Infrared Counter Measure System*. Online: www.leonardocompany.com/documents/20142/3149378/Miysis+DIRCM+datasheet+%28mm08221%29.pdf?t=1605020654244
- [36] Leonardo, *SEER Advanced Radar Warning Receiver*. Online: www.leonardocompany.com/documents/20142/3149462/SEER+Digital+RWR+%28mm07739%29+HQ.pdf?t=1606220930185
- [37] Lockheed Martin, *AN/ALQ-210 Electronic Support Measures*. Online: www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/electronic-warfare/AN-ALQ-210-brochure.pdf
- [38] Lockheed Martin, *AN/APR-48B Modernized Radar Frequency Interferometer*. Online: www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/electronic-warfare/APR-48B-brochure.pdf
- [39] Lockheed Martin, *AN/APR-52(V)1 Digital Electronic Support Measures/Radar Warning Receiver*. Online: www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/electronic-warfare/APR-52_Brochure%20MOR201811007.pdf
- [40] Markets and Markets, *Aircraft Survivability Equipment Market by Platform (Combat aircraft, Combat helicopter, Special mission aircraft, UAV), Subsystem (Electronic Support,*

- Electronic Attack, Non-combat systems), Fit (Line fit, Forward Fit) and Region – Global Forecast to 2022.* Online: www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/aircraft-survivability-equipment-market-31114876.html
- [41] Mönch Publishing Group, *Helicopter Self-protection system*. Online: www.monch.com/mpg/news/c5i/1264-helo-protect.html
- [42] My City Military, *Kamov-Ka-50-52*. Online: www.mycity-military.com/Helikopteri/Kamov-Ka-50-52_128.html
- [43] Northrop Grumman, *AN/APR-39 Digital Radar Warning Receiver Family*. Online: www.northropgrumman.com/what-we-do/air/an-apr-39-digital-radar-warning-receiver-family
- [44] Northrop Grumman, *New capability for the Army's helicopter fleet has begun Initial Operational Test and Evaluation*. 2019. augusztus 28. Online: <https://news.northrop-grumman.com/news/releases/northrop-grumman-common-infrared-countermeasures-systems-enters-operational-testing>
- [45] Orosz Z., *A Magyar Honvédség szállítórepülő- és helikopter-alegységek alkalmazási lehetőségei a NATO szövetségi rendszerében*. Doktori (PhD-) értekezés, Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2011.
- [46] RUAG, *Integrated Self-Protection System*. Online: <https://ruag-ch.picturepark.com/v/KFA5Jknx/>
- [47] T. Stuart, „A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice,” *Omega*, 20. évf. 5–6. sz. pp. 569–586. 1992. Online: [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(92\)90003-P](https://doi.org/10.1016/0305-0483(92)90003-P)
- [48] Terma, *Complete Self-Protection Systems for All Type of Aircraft*. Online: www.terma.com/media/manojep/terma-complete-self-protection-systems_march2021.pdf
- [49] Thales Group, *Electronic warfare systems, SPS-H Integrated Self-protection System for Helicopters*. Online: www.thalesgroup.com/sites/default/files/database/d7/asset/document/SPH_H-Product-Brochure-June2001.pdf
- [50] R. J. Wiegand, *Radar Electronic Countermeasures Systems Design*. Boston, Artech House Inc. 1991.

Evaluation of the Complex Electronic Warfare Self-Protection System of Military Helicopters

The need for military helicopters to pre-design and possibly use electronic warfare systems in a self-protection or narrower sense and to make battlefield information available during the deployment of helicopters is growing. Many companies make self-protection systems, but these often only partially provide complete and comprehensive solutions, making them difficult to compare. Presumably, several countries' army and manufacturing and development companies have already developed a framework for analysing and evaluating military helicopter electronic warfare self-protection systems so that they can be compared and ranked mainly on a military, technical or financial and economic basis, mainly quantitatively. In addition, the main areas of development have been identified, which are: complexity, automatic, fast data transfer, wide-range detection and response, and specific recommendations for any type of helicopter, depending on the application. Therefore, self-protection systems for military helicopters will be able to be designed according to a certain level of capability or risk. In this paper, the author

intends to present a possible evaluation process for electronic warfare self-protection systems in military helicopters.

Keywords: *military helicopter, electronic warfare, self-protection, evaluation, comparison*

Domán László őrnagy főtechnológus (osztályvezető helyettes)	Major László Domán Chief Technologist (Deputy Head of Department)
Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem	Hungarian Defence Forces Aircraft Repair Plant
Műszaki Fejlesztési és Technológiai Osztály	Technical Development and Technological Department
doman.laszlo79@gmail.com orcid.org/0000-0002-4472-2609	doman.laszlo79@gmail.com orcid.org/0000-0002-4472-2609



Balajti István, Turai András

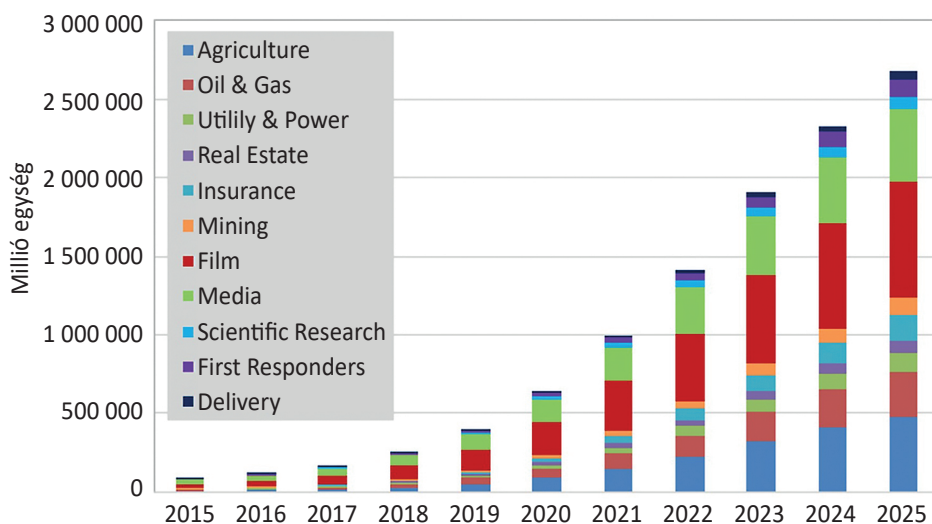
Kiemelten fontos objektumok drón általi légi megfigyelések elleni védelmi képességeinek performanciavizsgálata

A drónokkal történő illetéktelen megfigyelések elleni védelem a jelen és közeljövő feladata. Megoldása nagymértékben függ az illetéktelen információszerzéssel kapcsolatos adatok felhasználásának veszélyességétől. Ezek értékelésével eldönthető, hogy az objektum őrségének feladatait, az egyszerű vizuális légtérfigyelésen túl, célszerű kiegészíteni komplex dróntevékenység-érzékelő rendszerekkel. Mivel a veszély valós, és az illetéktelen drónmegfigyeléseket jogilag értékelhető módon dokumentálni szükséges, ezért elvárás a védendő terület dróntevékenység-érzékelő képességének szakszerű performanciavizsgálata. Gyakorlatilag minden védendő objektum eltérő környezeti jellemzőkkel, attribútumokkal rendelkezik, és a megfigyelésre alkalmazható drónok száma, alkalmazásának módjai jelentősen eltérnek egymástól. Ezért a vizsgálatokkal szembeni legfontosabb elvárás a védelmi képességek lehetőség szerint mindenre kiterjedő, megbízható, idő- és költséghatékony tesztljárások alkalmazása. Elvárás, hogy a performanciatesztek a védendő objektum, védelmi rendszer elemeinek elhelyezkedése és minősége paramétereinek ismerete nélkül is, objektíven kiértékelhető adatokat szolgáltatassanak.

Kulcsszavak: performanciateszt, drónok, légi megfigyelések, kiemelten fontos objektumok

1. Motiváció

Polgári és speciális célú drónok robbanásszerű terjedése figyelhető meg környezetünkben. Szinte naponta jelennek meg hírek az új alkalmazásokkal kapcsolatban (lásd 1. ábra) [1]. Magyarországon a legális „drónozás” folyamata részletesen megismerhető a [2] hivatkozás tanulmányozásával. Ugyanakkor jogosan merül fel az igény a jogszabályokat és egyéb elvárásokat nem, vagy csak részben betartó alkalmazások felügyeletére, illetve a kiemelten fontos objektumok drón légi megfigyelések elleni védelmének értékelésére. Ezért fontos, hogy a Parlament, a minisztériumok, a repülőterek, olajfeldolgozók, atomerőművek és egyéb kiemelten kezelt létesítmények drónokkal történt jogosulatlan megközelítése, a légtérüket ellenőrző rendszerek performanciavizsgálataival hitelesíthető legyen.



1. ábra

Dróneladások előrejelzése alkalmazási területek szerint [1]

A szerzők több mint 45 éve foglalkoznak a legmodernebb rádiólokátor és egyéb érzékelők légvédelembe való integrálásával, K + F + I feladatok és projektek kockázatfelmérésével, vezetésével, valamint az elmúlt 20 évben, a szenzorok *in situ* performanciavizsgálatainak kidolgozásával és végrehajtásával. Ez a műszaki és tudományos háttér és érdeklődési kör inspirálta a tanulmány kidolgozását.

2. A drón általi megközelítés veszélyeinek rendszerezése

A témakör magában foglal gyakorlatilag minden olyan tevékenységet, amely megszegi a jogszerű légtérhasználat előírásait [3]. Ezek közül a tanulmány kiemelten kezelendő veszélyforrásnak tartja:

- egy objektumról és környezetéről történő jogosulatlan információ gyűjtését;
- repülőterek biztonságos üzemeltetésének megzavarását, illetve veszélyeztetését;
- a drónok alkalmazásával kapcsolatban előidézett veszélyhelyzeteket, illetve baleseteket;
- drónok alkalmazását szándékos károkozásra.

2.1. Drónok alkalmazásprofil szerinti osztályozása

A legelterjedtebb drónokat méretük, terhelhetőségük és megfigyelésre alkalmasságuk szerint a tanulmány három csoportba sorolja. Ezek a *nagyon kicsi*, 250 g alattiak, például DJI Mavic, (lásd 2. ábra), a *közepes*, hasznos terheléssel 9 kg tömeg alattiak, például a 3. ábrán

az AGRAS T20, és a *nagy teherbírású* drónok, lásd például a 4. ábrán a HERMES 900 katonai drónt, amelyek 10 kg-nál nagyobb terhet képesek szállítani.



2. ábra
Hobbidrónok: DJI Mavic (249 g) [a szerző saját fotója]



3. ábra
Drónok a mezőgazdaságban (AGRAS T20) [14]



4. ábra
Katonai drónok (például HERMES 900) [13]

2.2. Drón általi megközelítések veszélyeinek alkalmazásprofil szerinti távolsági zónái

Elemezve a különböző méretű drónok gyorsulás- és mozgásparamétereit, valamint a légtérhasználat lehetőségeit, gyakoriságát, felmérhető az általuk okozható kockázat. Ezért a kiemelten kezelendő objektumok körül kijelölhetők olyan távolsági határok, szektorok, amelyeken belül a drónok megjelenése és tevékenysége egyre nagyobb kockázatot jelent.

A szerzők *kis kockázattal rendelkező területként jelölik* az objektumtól 10 km-nél nagyobb távolságban található drónokat. *Közepes veszélyforrást* jelentenek a 10 km-n belül, de 3 km-nél távolabb tevékenykedő drónok. *Magas veszélyforrást jelentenek a 3 km-n belül* tevékenykedő drónok, amelyek mozgásáról pontos és megbízható információval kell rendelkezni a védendő objektumban.

3. A védelmi rendszer performanciavizsgálatának elvárásai

A repülőterek drónok elleni védelmével kapcsolatos USA-specifikus elvárásait megfogalmazták a szakirodalomban és ennek háttéranyagaiban [4]. További problematikus drónhasználattal kapcsolatos eseményeket dolgoz fel az idézett irodalom [5]. A jelen tanulmány ezekről részben eltérő elvárásokat keres, mivel a védendő objektum(ok) körét kiterjeszti a sűrűn lakott körzetek légtereire, és elvárás a tesztrepülések számának költséghatékony minimalizálása. Az *in situ* mérések során szerzett tapasztalatok és az előzetesen felvázolt műszaki megoldásokból levonható következtetések alapján megfogalmazható egy a gyakorlatban megvalósítható elvárásrendszer:

- a *nagy méretű drónok*, 10 km távolságon túli közeledéséről, a védendő objektum rendszere rendelkezzen megbízható információval (saját radar[ok]tól vagy központi légtérellelőrzéstől);
- 10 km-n belül a védelmi rendszer szolgáltatson minőségi paramétereket (céltárgy-detektálás, vaklármá, drónazonosítási valószínűségek), és adjon átfogó képet *közepes méretű* drónokra vonatkozó detektálási, útvonalkövetési és azonosítási képességekről;
- 3 km-n belül a védelmi rendszer szolgáltatson minőségi paramétereket és nyújtson átfogó képet *közepes és kis méretű drónokra* vonatkozó detektálási, útvonalkövetési és azonosítási képességekről;
- a feladat végrehajtásához, a *tesztrendszer alkalmazói eljárásainak kidolgozásához*, ne legyen szükség a védendő objektum védelmi eszközeinek elhelyezkedésére és minőségére vonatkozó információk átadására (ha az információk bizalmas minősítéssel rendelkeznek);
- a *performanciaméréseket kis és közepes méretű drónok* tesztrepüléseivel hajtják végre, amely repülések GPS-pontosságú adatait adják át az eredmények kiértékelését végző kezelő állomány számára;
- a tesztrepülések minimális időigénnyel történjenek, a védendő objektum minél nagyobb légtérsezmensének performanciavizsgálatát tegyék lehetővé.

4. A drónmegközelítést érzékelő rendszerek értékelése

A drónok detektálására, útvonaluk követésére, azonosítására és semlegesítésére használt leggyakoribb eszközök a légtérellelőrzésben bevált „klasszikus” elvárásokat követik. Ezek, a megvalósítás költséghatékonyságát is figyelembe véve: a behatolás észlelése, a behatolás helyének és mozgásparamétereinek behatárolása, a behatoló drón típusának, külső méreteinek és fedélzeti eszközeinek azonosítása, majd a veszélyhelyzet elhárítása. Az egyes alrendszerek műszaki elvárásai a gyakorlatban bevált AARTOS-rendszer esetén az alábbiak [6]:

- *mikrohullámújel-detektor* (más értelmezésben: rádiófelderítés), amely a drón és kezelője közötti mikrohullámú kapcsolat paramétereit méri, és automatikusan képes megkülönböztetni azt más RF-jelforrásoktól. Hatótávolsága 14 km, de kiterjeszthető 50 km-ig (lásd 5. ábra);
- *rádiólokátor*, amely 8 km-n belül automatikusan, 3D koordináták szerint detektálja, útvonalba fogja és osztályozza a körzetében tartózkodó drónokat;
- *integrált optikai és hőkamera*, amely az optikai rálátás határain belül automatikusan követi és részletes információt szolgáltat a drónok alakjáról, mozgásáról és terhelésükről;
- *anti-drón zavaró*, amely 8 km-n belül maximum 800 W kimenő teljesítménnyel zavarhatja a 6 GHz alatti drónkommunikációt és a vezérlését segítő GPS-jeleket;
- *nagy hatótávolságú sziréna* a védendő objektum személyzetének figyelmeztetésére.

Drónelhárításra használt más ismert rendszerek műszaki paramétereit, alkalmazásuk lehetőségeit és a drónokkal kapcsolatos veszélyhelyzeteket elemzi a [5] tanulmány.



5. ábra

Az AARTOS-rendszer drónok elleni védelmi alrendszerei [6]

4.1. A drónok elleni védelmi alrendszerek performanciaelemzése

A drónok alkalmazásprofil szerinti lehetőségeiből, a védendő objektum területére telepíthető legerterjedtebb védelmi eszközök képességeinek elemzésével meghatározhatók a rendszer performanciateszteléséhez szükséges elvárások. A legfontosabb paraméterek az alábbiak:

A rádióhorizont az optikai látóhatárral (*line of sight*, LOS) egybeeső képzeletbeli határgörbe. Kiemelt jelentősége van a rádiólokátor-technikában, hiszen a sikeres drónfelderítés, útvonalképzés, ellentevékenység érdekében a védendő objektum és a drón között egyenes rálátásnak kell lennie. A rádióhorizont a föld görbületének (Föld valós rádiuszának 4/3-szorosa), a különböző vivőfrekvencia-tartományok terjedési sajátosságaitól eltekintve (értéke kisebb, mint 0,1%) meghatározható [7]:

Optikai látóhatár:

$$D_{km} \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1)$$

Rádióhorizont:

$$D_{km} \approx 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (2)$$

ahol: h_1 – az antenna elektromágneses középpontjának földfelszín feletti magassága [m],
 h_2 – a drón (mint céltárgy) földfelszín feletti repülési magassága [m].

A földfelszín felett (h_2) = 300 m magasságon repülő drón, a (h_1) = 5 m magasra telepített radar antennával 80,6 km távolságból detektálható, míg az egyenes rálátás „csak” 69,8 km.

Az 1. táblázat összefoglalja a kis magasságú drónfenyegetettségek radarhorizont- és optikai látóhatár értékeit, ha a szenzor 5 m magasan helyezkedik el.

1. táblázat
Kis magasságban repülő drónok detektálhatóságának elméleti lehetőségei [a szerzők számítása]

Drón repülési magassága [m]	Radarhorizont [km]	Egyenes rálátás (LOS) [km]
50	38,36	33,22
100	50,43	43,68
150	59,70	51,70
200	67,51	58,46
250	74,39	64,42
300	80,61	69,81

4.2. A drónok elleni védelemben alkalmazható rádiólokátorok performanciája

A drónmegközelítés időjárástól és napszaktól független érzékelésére a leghatékonyabb rendszerek az aktív fázisvezérelt antennarács (AESA-) antennát alkalmazó rádiólokátorok. Ilyen típusú rádiólokátor-antennákat alkalmaznak az AARTOS-rendszerben és 2020 decemberében, a Magyar Honvédség számára megvásárolt, a 11. ábrán látható „S” sávú ELM-2084 rádiólokátorban. A rádiólokátorok drón-detektálási lehetőségeit alapvetően meghatározza az *antennanyereség*, az *antennanyaláb irányítottsága* mint térbeli szűrő és a nyaláb(-ok) mozgathatóságának gyorsasága, az *alkalmazott adójel-teljesítmény* és a *drón hatásos radarkeresztmetszete* (RCS). A számítások egyszerűsítése céljából a rádiólokátor-egyenletben szereplő további tényezőket, fizikai lehetőségeket – például a jelfeldolgozás minőségét meghatározó detekciós és vaklármá-valószínűségeket – a doppler- és mikrodoppler-jellemzőket, *konstansnak* tekintjük. A rádiólokátorok antennaelméletéből ismert, hogy az *antennanyereség* közelítő értéke meghatározható:

$$G \cong \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} \quad (3)$$

ahol: G – az antenna nyeresége,
 λ – a rádiólokátor üzemi hullámhossza,
 A_p – az antenna geometriai felülete, amely magában foglalja az apertúra hatásfokát (μ).

Nagy hatótávolságú radarok esetén elterjedten alkalmazzák az „L” és az „S” frekvenciasávot, míg a hézagkitöltő radarok számára a magasabb frekvenciasávok („C”, „X”) alkalmazása is elterjedt. A különböző frekvenciasávok alkalmazástechnikai előnyeinek megértéséhez hasonlítsuk össze azok megvalósíthatóságának műszaki elvárásait. Az „S” sávú nagy hatótávolságú radaroknál szokásos maximális antennaméretet (szélessége $\times$ magassága $6 \times 4,4$ m) és *70% apertúra-hatásfokot* feltételezve az antennanyereségek az „L”, „S” és „X” sávra (lásd 2. táblázat). Figyeljük meg, hogy adott antennaméreteken esetén a *hullámhossz csökkenésével jelentősen nő az antennanyereség*.

2. táblázat

Különböző típusú rádiólokátorokhoz és antennaméretekhez tartozó antennanyereség [a szerzők számítása]

Antennaméret: szélesség × magasság	„L” sáv ($\lambda = 0,23$ m)	„S” sáv ($\lambda = 0,10$ m)	„X” sáv ($\lambda = 0,03$ m)
$6 \times 4,4$ [m]	36,4 dB	43,6 dB	54,1 dB
$2 \times 1,2$ [m]	26,0 dB	33,2 dB	43,7 dB
$0,7 \times 0,5$ [m]	17,6 dB	24,8 dB	35,3 dB

Az antennanyereség és az irányélességi szög között (kis szögek esetében) az alábbi (ablakfüggvényekkel nem módosított, ezért „elméleti”) megközelítés alkalmazható:

$$G \cong \frac{4\pi\mu}{\theta_{az} \cdot \theta_{el}} \quad (4)$$

ahol: μ – az antenna sugárzási hatásfoka (például 70%),

θ_{az} – az antenna vízszintes irányélességi szöge,

θ_{el} – az antenna függőleges irányélességi szöge.

A 2. táblázat paramétereinek alkalmazásával az „L”, „S” és „X” sávú radar irányélességi szögei radiánból fokba átszámítva a 3. táblázatban láthatók. Gyakorlatilag az antennanyaláb tér-
lapogatásának módszere, gyakorisága és az elvárt impulzusintegrálási szám határozzák meg a drón detektálásához optimális irányélességi szögeket. A 2. és 3. táblázatokból megfigyelhető, hogy nagy hatótávolságú rádiólokátorok alkalmazásához nagy antennaméretek szükségesek az elvárt antennanyereség és a pontos drónhelyzet meghatározásához szükséges kis irányélességi szögek eléréséhez. Ugyanakkor ez a feladat az „X” frekvenciasávban jelentősen kisebb antennaméretekkel is megoldható.

3. táblázat

Különböző rádiólokátor-típusok irányélességi szögei [a szerzők számítása]

Antennaméret szélesség × magasság	„L” sáv ($\lambda = 0,23$ m)		„S” sáv ($\lambda = 0,10$ m)		„X” sáv ($\lambda = 0,03$ m)	
	θ_{az}	θ_{el}	θ_{az}	θ_{el}	θ_{az}	θ_{el}
$6 \times 4,4$ [m]	2,2	3	1	1,3	0,3	0,4
$2 \times 1,2$ [m]	6,6	11	2,8	4,7	0,8	1,4
$0,7 \times 0,5$ [m]	18,8	26	8,2	11,5	2,5	3,4

A 4. táblázat, a rádiólokáció egyenletére épülő, úgynevezett Blake Chart-számítások alapján értékeli a különböző méretű drónok behatolás elleni védelmi rendszerének performanciavizsgálatához szükséges „S” és „X” sávú rádiólokátor-alrendszerek szerzők által legfontosabbnak tartott főbb elvárásait. A táblázat a különböző típusú drónok maximális detektálási távolságát különböző, $P_t = 300$ kW, 1 kW és 10 W adóteljesítmények eseteire adja meg. Az „S” sávú rádiólokátor antennanyeresége, a 2. táblázat szerint, $G_{ad\acute{o}} = G_{vev\acute{o}} = 43,6$ dB, míg az „X” sávúé $G_{ad\acute{o}} = G_{vev\acute{o}} = 35,2$ dB. A rádiólokátorok többi alrendszere rendelkezzen azonos céltárgydetekciós minőségi jellemzőkkel (detekciós és vaklármá-valószínűségek: P_d , P_{vl}) és adott céltárgydetektálási veszteségekkel. Például legyen a rádiólokátorokban használt adóimpulzusok

időtartama azonos: 100 μ s, és minden radar használjon két vivőfrekvenciát, ahol a koherens jelintegrálások száma nyolc. Továbbá a Blake Chart-számításokhoz a dróndetektálás minősége legyen „Sw1” fluktuációs modell szerint $P_d = 0,8$, és $P_{vl} = 10^{-6}$. A drónok becslült maximális detekciója a 4. táblázat szerinti RCS-sel az alábbiak szerint változik.

4. táblázat
Az „S” és az „X” sávú rádiólokátorok maximális dróndetektálási lehetőségei [a szerzők számítása]

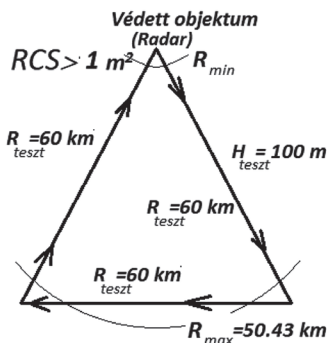
Dróntípus / RCS [m^2]	R_{max} [km] („S” sáv: $\lambda=0,10$ m)			R_{max} [km], („X” sáv: $\lambda=0,03$ m)		
	$P_t = 300$ kW	$P_t = 1$ kW	$P_t = 10$ W	$P_t = 300$ kW	$P_t = 1$ kW	$P_t = 10$ W
DJI Mavic/0,01 m^2	107 km	27 km	8,7 km	23,2 km	5,7 km	1,8 km
AGRAS T20/0,1 m^2	186 km	47 km	15 km	40,4 km	10,1 km	3,2 km
HERMES 900/3 m^2	430 km	107 km	35 km	90,6 km	23,2 km	7,5 km

5. Tesztrepülési profilok optimalizálása

A 3. pontban megfogalmazott performanciavizsgálatok elvárásai közül az első, „S” sávú rádiólokátorokkal biztosan, míg a kis méretű AESA antennával rendelkező „X” sávú rádiólokátorokkal részben megoldható. (Lásd műszaki részletek az 1. és 4. táblázatokban.) Az elvárások második és harmadik pontjai teljesüléséhez szükséges eszközök a „mikrohullámújel-detektor”, rádiólokátor (például „X” sávú) és az „integrált optikai és hőkamera” rendszer kimenő adatainak tárolása, és a drón GPS-helyzetét, mozgásparamétereit rögzítő fedélzeti adatgyűjtés együttes kiértékelése. Az elvárások ötödik és hatodik pontjainak teljesíthetőségéhez figyelembe kell venni a megfigyelőrendszer és a drónok mozgása közötti környezeti viszonyokat. Például a rádiólokátorok állócélszűrő rendszerei „érzékenyek” lehetnek a céltárgyak számukra „vak” sebességeire, a többszörös hullámterjedésre és jelreflektációkra, ezért fontos, hogy a repülési profil a céltárgy mozgását tangenciális, majd közelítő és távolodó radiális pályaszakaszokon egyszerűen kiértékelhető módszerekkel mérje. A javasolt mérési megvalósítás szavatolja a mérési eszközök, eljárások helyszíni adaptálhatóságát és továbbfejleszthetőségét, valamint az eredmények költséghatékony kiértékelhetőségét.

Tapasztalatok szerint az elvárások teljesítéséhez optimálisak az egyenlő oldalú háromszög útvonalon, adott magasságon repülő drónok (lásd 6. ábra), amilyeneket rádiólokátorok kisépés „berepüléséhez” már évtizedek óta használnak. Természetesen a repülés fedélzeti adatait rögzítik, és a kiértékelés összeveti ezeket a megfigyelőrendszer mérési eredményeivel. Az eljárás alkalmazásával megoldható a védendő objektum környezetében felbukkanó illegális repülőeszközök, például drónok detektálása, útvonalba fogása és mozgásparamétereik értékelése. Tapasztalatok szerint célszerű az elvárt repülési magasságot a legnagyobb valószínűséggel elvárt eredményt biztosító magassággal, például az 1. táblázat szerinti 300 m mint viszonyítási szint, kezdeni. A háromszög oldalai mentén összegyűjtött adatokat, a mért helyzetet (távolság, oldalszög és a helyszög), a sebességet, a jeldetektálás hiányát külön-külön értékelik és vetik össze a referenciaadatokkal, például GPS-jelentésekkel. Ha ezen a magasságon teljesülnek a megfigyelőrendszerrel szembeni minőségi követelmények, a repülések folytathatók a következő 250 m magassággal. Ha a földfelszínhez közelebbi magasságon a drónrepülés megfigyelési elvárásai nem teljesülnek, az ennél is alacsonyabb magassági tartományok tesztelése csak rosszabb eredményt adhat. Az adatok kiértékelését megkönnyíti,

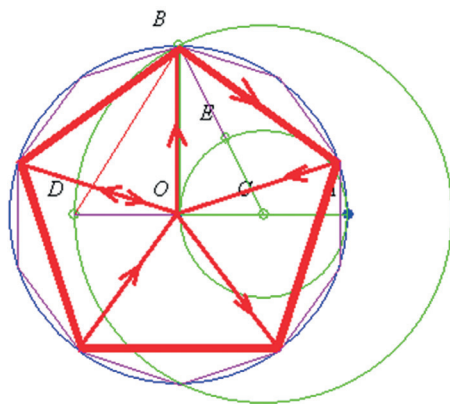
ha a háromszög csúcaiban nincs jeldetektálás. Ez a helyzet könnyen kialakítható, ha például a nagy radarkeresztmetszettel (RCS) rendelkező drónok távolságban a radarhorizont alá kerülnek, ugyanakkor kis drónok 3 km-n belüli repülései esetén ez gyakran nem teljesíthető.



6. ábra

A kisgépek/„nagy” drónok optimális tesztrepülési profilja [a szerzők számítása, szerkesztése]

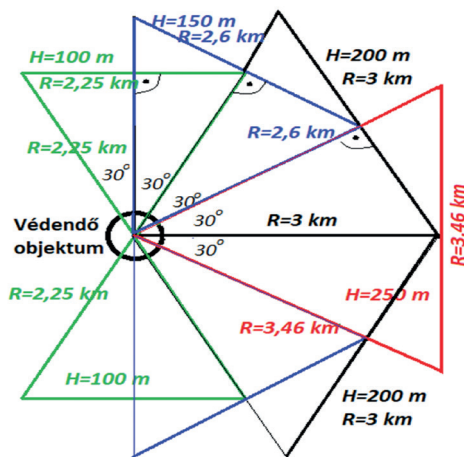
Nagy területek minél hatékonyabb berepüléséhez célszerű kihasználni a geometria nyújtotta lehetőségeket [8]. „Pontszerű” kiemelten védett területek, például a Budapesti Rendőr-főkapitányság (BRFK) épületének adott repülési magasságon leghatékonyabb repülési profilja az egyenlő oldalú ötszög mentén történő repülés. Természetesen az ötszög itt is szabályos háromszögekből áll, ahol a középpont irányába történő sugárirányú ki- és berepülések alkotják a szabályos háromszög oldalait. A repülési profil tervezésének menetét a 7. ábra szemlélteti. Az egymáshoz illeszkedő háromszögek szárainak a legvesélyeztetettebb irányokba forgatásával meghatározható a különböző magassági tartományokra vonatkozó teszt-drónrepülési profilok minimálisan szükséges száma. A „pontoszerű” objektumok körüli repülési profilokat nevezzük „vörös” légtérnek. Természetesen ez esetben is a referenciarepülési magasságon kell a megfigyelőrendszernek teljesíteni a minimális performanciaelvárásokat.



7. ábra

Egyenlő oldalú ötszög repülési profil tervezése [8] grafikai kiegészítésével

A 8. ábrán bemutatott drónrepülési profilok tovább optimalizálják a performanciamérésekhez szükséges idő- és eszközhasználatot a legvesélyeztetettebb irányok kijelölésével. Ennek elve, hogy a szabályos háromszög területe, magassága a beírt kör sugara és a köré írt kör sugara a drón-detektálás 3 km-s követelményeivel származtatható (lásd 8. ábra, „vörös” háromszög $H = 250$ m repülési magassággal). A „fekete” szabályos háromszög, $H = 200$ m magasság repülési útvonalát a „vörössel” jelzett háromszög magasságának talppontjából indított és az oldalakat derékszögben metsző egyenesek jelölik ki. A „kékkel” és „zölddel” jelzett $H = 150$ m, és $H = 100$ m repülési magasságok szabályos háromszögei hasonlóan határozhatók meg.



8. ábra

A legvesélyeztetettebb irány, „vörös” légtér, tesztdrónrepülési profiljai [a szerzők számítása]

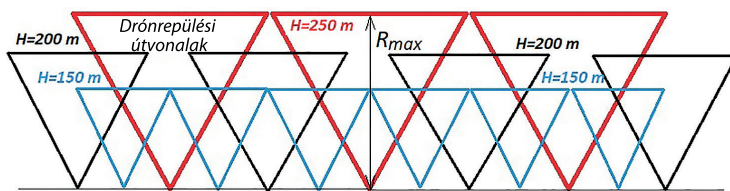
A drónrepülések számának optimalizálásához meg kell határozni a szabályos háromszögek által átfedésekkel lefedett területek nagyságát, amely:

$$T_{össz} = \sum_1^i \sum_1^n \frac{\sqrt{3}}{4} R_i^2 \quad (5)$$

ahol: n – a drón által adott repülési magasságon repült szabályos háromszögek területe,
 i – az elvárt különböző repülési magasságok száma:
 ...300 m, 250 m, 200 m, 150 m, 100 m, 50 m, ...

Ezeket az adott magassági repüléseket meghatározó szabályos háromszögeket használhatjuk vonalas, például határellenőrzés, védelmi rendszer tesztrepüléseinek optimalizálásához. Ezt szemlélteti a 9. ábra, ahol a rendszer repülési magasság szerint strukturált tesztdrónrepülési profiljai és azok átfedése látható. Ez az elvárás megfelelő adott határszakaszok „kiemelten védett légtereinek” performanciavizsgálataihoz. Természetesen a gyakorlatban megvalósuló *in-situ* mérések esetén a vonalas határszakaszok performanciavizsgálatára elfogadott

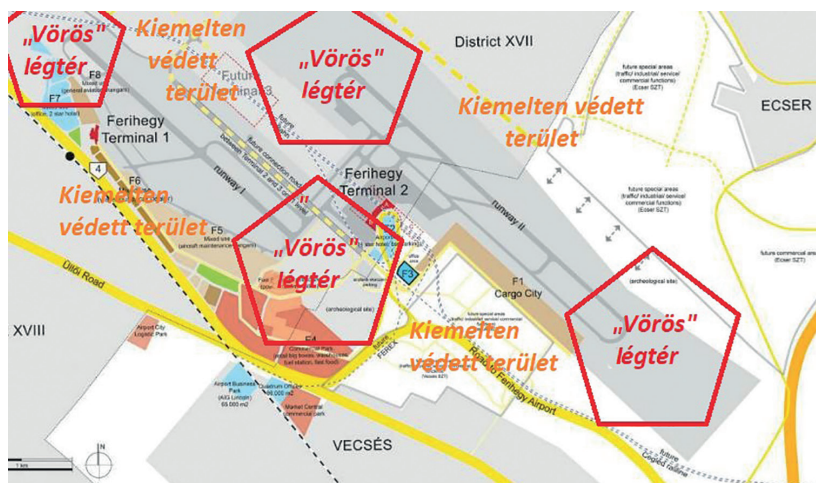
„kiemelten védett légterek” módszert kombinálni kell a legvesélyeztetettebb irányok számára kidolgozott „vörös” légtér eljárásokkal. Ez azért szükséges, mivel a vonalas védelmet gyakran megszakítják utak és más a drónmegközelítés rejtettségét megkönnyítő környezeti elemek.



9. ábra

„Kiemelten védett légterek” tesztdrónrepülési profiljai [a szerzők szerkesztése]

A 10. ábra egy kombinált tesztkörnyezetet, a Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér elképzelt drónvédelmének tesztlégtereit szemlélteti. Természetesen a kifutópályák le- és felszállási irányában, „vörös légtérben” felbukkanó különböző típusú drónok detektálási performanciája részletesebb vizsgálatokat és dróntesztrepüléseket kíván, mint a „kiemelten védett területek”.



10. ábra

Repülőtér drónvédelmének légterei (elképzelés) [a szerzők szerkesztése]

Az elkövetkező évtizedekben a magyar légvédelem és tűzérzékelő elemeinek gerincét az ELM-2084 MMR (*Multi-Mission Radar*, több feladatú rádiólokátor) radarcsalád technológiája és továbbfejlesztésének lehetőségei fogják meghatározni [9]. A 11. ábrán látható rádiólokátor tökéletesen megfeleltethető nagy kiterjedésű kiemelten védett objektumok, például a Paksi Atomerőmű légtérének drónmegközelítést felügyelő rendszere központi elemeként. A 11. ábra bemutatja a különböző fenyegetettség ellen használható alrendszerek elhelyezkedését, amelyek műszaki paraméterei az előzőekben felvázolt elvárásokkal, táblázatokkal és mód-szerekkel költséghatékonyan értékelhetők.



11. ábra

Az ELM-2084 MS MMR rádiólokátor alrendszerei [9] grafikai kiegészítésével

Az érdeklődők számára a rádiólokátorok és egyéb érzékelőrendszerekkel kapcsolatos *in situ* performanciamérésekkel kapcsolatban további hasznos információ található a szakirodalomban [10], [11], [12].

6. Összefoglalás

A tanulmány felhívja a figyelmet a kiemelten fontos objektumok drónmegközelítéseinek veszélyeire, és elemzi az ellenük való védelem szükségességét és lehetőségeit. Bemutatja, értékeli és számításokkal bizonyítja a drónmegközelítések elleni védelmi rendszer performanciavizsgálatának elvárásait. Ajánlást fogalmaz meg a tesztdrónok védendő objektum körzetére vonatkozó optimális repülési profiljainak kidolgozására, a performanciamérések idő- és költséghatékony megvalósítására.

Megállapítja, hogy tesztrepülésekkel pontos adatokhoz juthatunk a napjainkban egyre növekvő drónfenyegetettség térbeli elhelyezkedéséről, irányairól és azonosítási lehetőségeivel kapcsolatban, amely jelentősen hozzájárulhat a védendő objektumok drónokkal történő megközelítéseinek jelzéséhez, dokumentálhatóságához és ezzel például repülőterek és atomerőművek biztonságos üzemeltetéséhez.

A tanulmány célja a címben jelzett feladatok módszertani összefoglalása és a kapcsolódó feladatok részletesebb kidolgozása szükségességének jelzése. Ugyanakkor a feladatok végrehajthatóságához tehetséges, a kihívásokat értő, egyben kreatív hadmérnökök szükségesek.

Felhasznált irodalom

- [1] edge ai + vision, *Vision Processing Opportunities in Drones: The Drone Market size. 2020–2025*. 2016. szeptember 15. Online: www.edge-ai-vision.com/2016/09/vision-processing-opportunities-in-drones/
- [2] Drone Hungary – Magyarország legnagyobb Drónos közössége
- [3] Drónpilóták Országos Egyesülete, *Drón és modell repülés jogi szabályozás*. Online: <https://doe.hu/dron-es-modell-repules-jogi-szabalyozas>
- [4] Pillsbury Law, *FAA Seeks Drone Detection and Mitigation Systems for Airport Testing*. Online: [FAA Seeks Drone Detection and Mitigation Systems for Airport Testing \(pillsburylaw.com\)](http://FAASeeksDroneDetectionandMitigationSystemsforAirportTesting(pillsburylaw.com))
- [5] Dudás Z., Újvári B., „A drónelhárítás módszerei és lehetőségei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 3. sz. pp. 135–141. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.11>
- [6] AARTOS Drone Detection System, <https://drone-detection-system.com/aartos-dds/product-overview/>
- [7] *Radar Horizon and Target Visibility Calculator*. Online: www.translatorscafe.com/unit-converter/en-US/calculator/radar-horizon/
- [8] *Azarany metszés síkgeometriája*. Online: www.jgypk.hu/tanszek/matematika/speckoll/2001/arany/04_sikgeometria.htm
- [9] Missile Defense Advocacy Alliance, *ELM 2084 MMR (Israel)*. 2018. december. Online: <https://missiledefenseadvocacy.org/defense-systems/elm-2084-mmr-israel/>
- [10] M. Weiß, S. Sandenbergh, F. Valdes, P. Müller, D. Bok, M. Kohler, D. O'Hagan, P. Knott, „Aspects of Next Generation Sensor/Radar Networks,” in *Proceedings of the 20th International Radar Symposium (IRS)*. DGON, pp. 335–345. 2019. Online: <https://doi.org/10.23919/IRS.2019.8768188>
- [11] I. Balajti, „Performance measurements of the radar »In Situ«,” in *Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, MRRS 2008*. Kiev, Ukraine, 22–24. September, pp. 334–339. 2008. Online: <https://doi.org/10.1109/MRRS.2008.4669608>
- [12] D. K. Barton, „Radar System Analysis and Modeling,” *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 40. évf. 4. sz. pp. 23–25. 2005. Online: <https://doi.org/10.1109/MAES.2005.1423386>
- [13] <http://nosint.blogspot.com/2015/04/iaf-hermes-900-drone-disrupts-any-enemy.html>
- [14] <https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-dji/dji-agras-t20/>

Performance Testing of the Defence Capabilities of High-Priority Objects against Drone Air-Surveillance

Protecting against unauthorised surveillance of drones is the responsibility of the present and near future. Our solution depends largely on the risk of unauthorised information being used. By these assessments, one has to decide that the tasks of the object's guard, in addition to simple visual airspace observation, should be accompanied by complex drone activity detection systems. As the threat is real and unauthorised drone sightings need to be documented in a legally appreciable manner, it is expected that the drone activity detection capability of the area to be protected will be properly tested. Virtually all objects to be protected have different environmental characteristics, attributions, and the number of drones that can be used for

surveillance and the ways in which they are used vary considerably. Therefore, the most important requirement for testing is the use of comprehensive, reliable, time-effective and cost-effective test procedures for defence capabilities where it is possible. Performance tests are expected to provide objectively evaluated data without knowing the location and the quality of elements of the object or protection system to be protected.

Keywords: *performance test, drones, air-surveillance, high-priority objects*

Balajti István ny. mk. alezredes Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola balajti.istvan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3566-2904	István Balajti ret. Eng. Lt. Col. University of Public Service Doctoral School of Military Engineering balajti.istvan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3566-2904
Turai András ny. mk. alezredes orcid.org/0000-0002-1681-6202 andrasturai@hotmail.com	András Turai ret. Eng. Lt. Col. orcid.org/0000-0002-1681-6202 andrasturai@hotmail.com



Beneda Károly, Kavas László, Varga Béla

A CFM56 típusú kétáramú gázturbinás sugárhajtómű égésterének numerikus áramlástanai modellezése

Napjainkban a közlekedés további ágazataihoz hasonlóan a repülés is egyre újabb alternatívákat keres a hagyományos, fosszilis tüzelőanyagok leváltására. A már meglévő, bevált hajtóművekben azonban nem alkalmazható tetszőleges égési folyamat, az alternatívák kiválasztásánál a pillanatnyi teljesítmény mellett a hosszú távú következményeket is figyelembe kell venni. Jelen cikkben a szerzők a Magyar Honvédség kötelékében szállító repülőgépként alkalmazott Airbus A319 típus CFM56-5 gyártmányú, nagy kétáramúsági fokú gázturbinás sugárhajtóművének égéstermodelljét és numerikus vizsgálatát mutatják be, amelyet hagyományos kerozin tüzelőanyaggal validáltak. Az égéster geometriáját az irodalomban fellelhető kétdimenziós rajzok alapján határozták meg, majd az elvégzett szimuláció valóságos üzemi állapotoknak megfelelő peremfeltételekkel történt meg. További mért adatok segítségével megállapítható, hogy a modell alkalmas az égésterben lezajló termodinamikai folyamatok jellemzésére, így a későbbiekben alternatív tüzelőanyagok előzetes vizsgálatára is hasznosítható.

Kulcsszavak: gázturbinás sugárhajtómű, numerikus áramlástanai szimuláció, égésszimuláció, validálás, kerozin

1. Bevezetés

A repülésben nagy teljesítménysűrűségük okán az elmúlt évtizedekben domináns meghajtási módot a különféle gázturbinás hajtóművek adják, tengelyteljesítményt leadó, avagy sugárhajtóművek [6, pp. 11–15]. Ez utóbbiak tekintetében megfigyelhető tendencia az egyre növekvő kompresszor-nyomásviszony és kétáramúsági fok, hogy a körfolyamat termikus és propulziós hatásfokait növelni lehessen. Nagyon fontos természetesen a hajtóművek hosszú élettartama, hogy minél kisebb költséggel üzemben tarthatók legyenek, amit napjainkban már igen fejlett digitális elektronikus szabályozó [1] és diagnosztikai rendszerek [20] biztosítanak. Ilyen megoldások mellett más eljárásokra is szükség van, hogy a gazdaságosságon túl további, például környezetvédelmi előírásoknak is megfeleljen az üzemeltetett légi jármű [10]. A gyártók évtizedes tapasztalataikat felhasználva egyre újabb égéster-konstrukciókat hoznak létre, amelyek – ötvözve a modern anyagtechnológia fémmátrixos kerámia alapanyagaival – nagy mértékben képesek az egyre szigorodó feltételeket teljesíteni [11]. Szintén ígéretesek az újfajta tüzelőanyagok, amelyek a jelenlegi konstrukciókban alkalmazva a repülés

fosszilis hajtóanyag-felhasználását képesek mérsékelni, hozzájárulva ezzel a fenntartható légi közlekedéshez. Egy alternatív tüzelőanyag esetében azonban igen széles körű vizsgálatokat kell elvégezni annak érdekében, hogy a tervező meggyőződhessen arról, az adott körülmények között a hajtómű biztonságosan üzemeltethető-e, leadja-e a kívánt tolóerőt, nem keletkeznek-e olyan káros mellékhatások (például tömítések tönkremenetele a nem kompatibilis folyadékoktól), amelyek veszélyeztetik az üzembiztonságon túl a gazdaságos működtetést is [2]. Mivel a tényleges égési folyamat kifejezetten összetett, a napjainkban már elterjedtnek számító numerikus áramlástani szimulációk (CFD¹) is kiemelt szerepet kapnak az effajta vizsgálatokban [3].

Ennek a cikknek a célja, hogy egy olyan háromdimenziós égéstermodellt hozzon létre, amelynek segítségével az esetlegesen felmerülő alternatív tüzelőanyagok viselkedése, valamint a gázturbina jellegzetes üzemi paramétereire gyakorolt hatása előre jelezhető egy olyan típusú gázturbinás sugárhajtómű esetében, amely a Magyar Honvédség kötelékében szolgál, és így az eredmények közvetlenül hasznosíthatók lehetnek. Ezt a modellt mutatja be a második fejezet, amelyet a rajta végrehajtott referenciaszimuláció leírása követ. A negyedik fejezet a numerikus számítások értékelését tartalmazza, amelyben egyúttal a szimulált adatoknak a valóságos paraméterekkel történő összevetése is megtörténik. Végül a szerzők összefoglalják az elért eredményeket és rámutatnak a lehetséges további fejlesztésekre.

2. A CFM56 típusú hajtómű égésterének háromdimenziós modellezése

Ez a fejezet a háromdimenziós égéster-geometria létrehozásának lépéseit taglalja a rendelkezésre álló metszeti rajzok alapján, amelyeket hasonló témakörben más szerzők korábban publikáltak.

A CFM56 típuscsalád az egyik legelterjedtebb gázturbinás hajtómű a polgári repülésben, körülbelül 33 000 megépített példánnyal, amelynek első változatát, a CFM56-2-est az amerikai General Electric és a francia SAFRAN Group által alkotott nemzetközi CFM International konzorcium tervezett még az 1970-es években [4]. A típus további változatai, a -3, -5 és -7 verziók az elmúlt évtizedek legmeghatározóbb konstrukciójává emelték a 100-150 kN tolóerő-tartományban, elsősorban a keskenytörzsű, rövid és közepes hatótávolságú Boeing B737 és Airbus A320 repülőgépeken, de találhatunk további variánsokat akár KC-135 Stratotanker vagy Airbus A340 négyhajtóműves, nagy hatótávolságú konfigurációban is [25]. Népszerűségére jellemző, hogy még 1996-ban is napirenden volt a CFM56-9 változat kifejlesztése [5], amely helyett azonban a gyártó inkább egy teljesen új fejlesztésbe fogott, ez lett végül a CFM LEAP²-1 család.

2.1. Az elérhető geometriai információk

Tekintettel jelentős elterjedtségére, a CFM56 típus égésteréről több jó minőségű geometria is rendelkezésre áll, amelyek között találhatunk kétdimenziós metszeti ábrát [16], [17], valamint

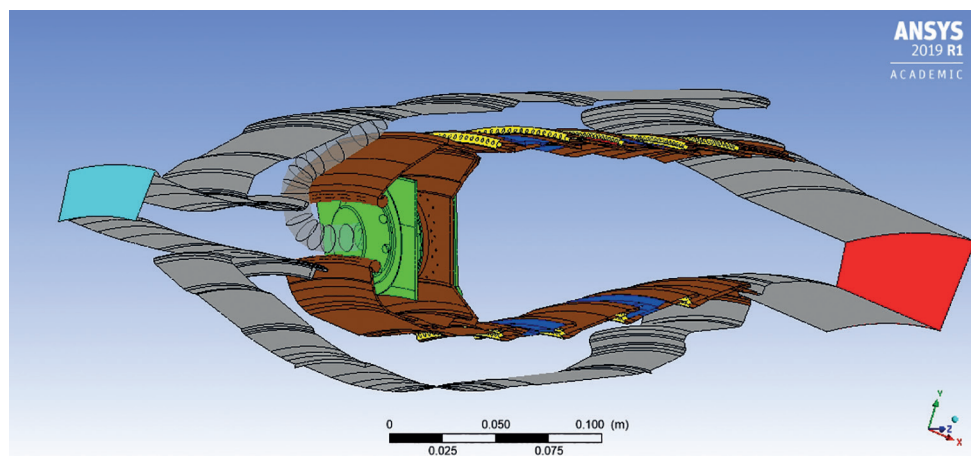
¹ CFD – *Computational Fluid Dynamics*, numerikus áramlástan.

² LEAP – *Leading Edge Aviation Propulsion*, élvonalbeli repülőgép-hajtómű.

a tüzelőanyag bevezetésére szolgáló fúvóka környezetének térbeli kialakítását is [7], [8], [15]. A kiindulási alap tehát a kettő különböző jellegű információ ötvözése volt, a teljes áramlási tér minden részletének ismerete híján az olyan kisebb hatású elemeket, mint például a tűzcső falát a fátyolhűtés levegőjével ellátó apró furatok, vagy elhanyagoltuk, vagy egy reálisnak tetsző konfigurációval helyettesítettük. Ebben segítségünkre voltak a [19] és [21] diplomamunkák, amelyekben ugyan nem a CFM56-5, hanem a -3 alváltozat égésterével foglalkoztak, de mivel a gázgenerátoron nem hajtott végre jelentős változtatást a gyártó, így közelítésként ezek is elfogadhatók. Ahogyan az általánosságban bevett gyakorlat numerikus áramlástani modellek megalkotásánál, a kompresszorkilépés és a turbina első fokozat belépésének fizikai integrálása helyett ezeken a helyeken meghosszabbított csőszakaszt helyeztünk el annak érdekében, hogy az érkező, illetve távozó áramlás rendeződhessen, és ne okozzon problémákat a szimulációban.

Fontos megjegyezni, hogy az égéstér szekunder áramában jelentős, több százaléknyi (tipikusan 5% környéki) levegőmennyiség halad, hogy a turbina első fokozatának állapotátjai számára hűtést biztosítson. Vannak ugyan olyan modellek [12], [27], ahol ismert ez a mennyiség, és ezért azok a felületek, ahol a valóságban e hűtőközeg áramlik, ott további kilépést lehet definiálni, esetünkben azonban sajnos nem ismert a pontos mennyiség, ezért e felületeket falnak tekintjük, és a kompresszor kilépésén megjelenő levegőmennyiséget annnyival csökkentjük, amennyit e hűtésre feltételezünk.

Az égéstér geometriája az 1. ábrán látható, amelyen megfigyelhető, hogy a teljes 20 fúvóka helyett csupán egynek a környezetét modellezzük.



1. ábra

A vizsgált égéstér-geometria [a szerzők ANSYS-szimulációja]

2.2. A hálózás

A numerikus áramlástani modellezés fontos lépése, hogy a rendelkezésre álló folytonos térbeli tartományt megfelelően kis méretű egyedi térrészekre bontsuk, amelyek száma könnyűszerrel

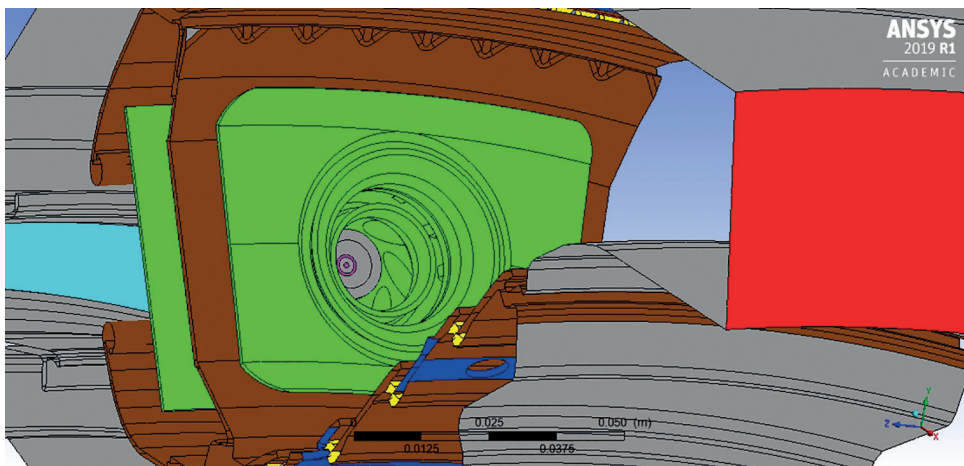
elérheti akár a milliós nagyságrendet is, így természetesen ez is kizárólag gépi algoritmussal valósítható meg. A szerzők az ANSYS programcsomag beépített hálózóját alkalmazták.

A legalapvetőbb beállítás az elemek geometriája, itt a nem strukturált tetraédes lehetőséget választottuk. Mivel magának az égéstérnek a jellemző hosszmérete közelítőleg 200 mm, ezért a legtöbb felületen 1,5 mm-es elemnagyságot állítottunk be a kellően finom, de nem túlzottan részletes hálózás érdekében, hogy még elfogadható legyen a számítási igény. Természetesen azokon a helyeken, ahol kifejezetten kis méretű geometriai részletek is fontosak lehetnek, például a porlasztón, ott ennél kisebb, 0,2 mm-től 0,7 mm-ig terjedő méretezést alkalmaztunk. Az egyes csoportok értékeit az 1. táblázat mutatja, elhelyezkedésüket pedig az 1. ábrán lehet megtekinteni.

1. táblázat

A felületi hálózás fontosabb beállításai [a szerzők saját adatai az ANSYS CFX Meshing programból]

Helyszín	Porlasztó	Fátyolhűtés furatai	Előperditő, deflektor	Hűtő- és hígítólevegő furatai
Elemméret (mm)	0,2	0,5	0,7	0,7
Színkód a 2. ábrán	Lila	Sárga	Zöld	Sötétkék

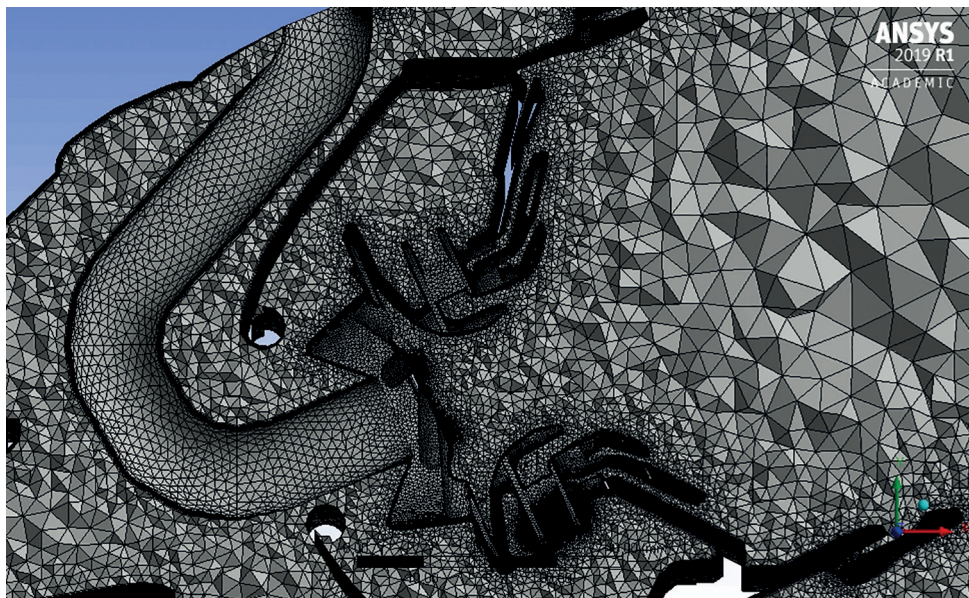


2. ábra

A felületi háló különböző zónái [a szerzők ANSYS-szimulációja]

A hálózás szempontjából kiemelten fontos a határréteg kezelése, amelyet az úgynevezett Inflation lehetőséggel tudunk megvalósítani. Minden szilárd falon 12 réteget állítottunk be, a maximális vastagság a nagyobb méretű falakon 1, a kisebbeken 0,5 mm. Ezzel elegendő felbontást lehet biztosítani az előzetes futtatások alapján, voltak azonban olyan különleges geometriai részletek, amelyeknek valamilyen diszkretizációs probléma miatt igen nagyra adódott a dimenziómentes faltávolságuk, az y^+ változó (tipikusan az előperditő lapát környékén). Ennek a jellemzőnek 30 és 300 közötti értékei az elfogadhatók [24], ezért az ilyen helyeken befolyásolási zónát (*sphere of influence*) definiáltunk, amelyben a megadott pont 3 mm-es környezetében 0,1 mm kényszerrel határoztunk meg helyi finomítás gyanánt. Egy ilyen befolyásolási zóna figyelhető meg a 3. ábrán, ahol a fúvókát körülölelő levegő előperditő felső

lapátján viszonylag nagy méretű hálóelemek fekszenek, az alsó részen viszont egybemosódó fekete folt sejteti, hogy ott a megjelenítés felbontásánál finomabb a felosztás.



3. ábra

A fűvóka környezetének hálózása [a szerzők ANSYS-szimulációja]

3. A modellen végzett numerikus áramlástan szimuláció

A vizsgálat elsődleges célja az égési folyamat modellezése, azonban mivel egyelőre csupán hagyományos kerozinnal való üzemi adatok állnak rendelkezésre, a modellen elvégzett szimuláció is ennek a tüzelőanyagnak az égésére szorítkozik. A későbbiekben, amennyiben már elérhető lesz valamilyen alternatív tüzelőanyaggal végzett kísérlet, akkor természetesen azoknak az alaposabb elemzése is lehetővé válik.

3.1. A peremfeltételek és egyéb beállítások

A numerikus áramlástan szimuláció a Reynolds-átlagolt Navier–Stokes differenciálegyenlet-rendszer diszkretizálásán alapul, így tehát a perem- és kezdeti feltételek megadása elengedhetetlen. Ezen túlmenően, többféle további kényszer meghatározása is szükséges a szimuláció helyes lefutása érdekében.

Az áramlási térben két fő anyag mozgását, valamint egymással való reakcióját vizsgáljuk, ezek közül az egyik a gázkeverék, a másik pedig a tüzelőanyagcseppek. Az előbbi esetében a keverési arány függvényében akár tiszta levegő is modellezhető, így nincs szükség az égés

előtti és utáni állapotok különféle anyaggal történő helyettesítésére. A gázkeveréket a teret folytonosan kitöltő közegként definiáltuk, a tüzelőanyagot pedig önálló részecskék formájában.

A hőátadást, hőszugárzást és az égést a közegtől függőnek állítottuk be, a turbulencia-modellként $k-\epsilon$ lehetőséget választottuk. A hőátadást a tüzelőanyagcseppeknel a részecske hőmérsékletétől függő, a gázkeverékben az összenergia alapján számítjuk, a sűrűládayi munkát is beleszámítva. A gázban létrejöhet égés, ezt PDF³ Flamelet modell szimulálja, amelyet kerozinra vonatkozóan a korábbi kutatásokban is használt könyvtárállomány tartalmaz. A sugárzást P1 séma szerint szimuláljuk, amely kisebb számításigénnyel rendelkezik más módszerekhez képest [14]. A két eltérő közeg kapcsolatát teljesen kötöttnek feltételeztük, a felületi feszültség értékét 0,026 N/m-re állítva. Az impulzuscsere Schiller–Naumann-, a hőátadást Ranz–Marshall-modell írja le, a cseppek felbomlását pedig a Schmehl-eljárás szerintire állítottuk be, amelyben a dinamikus ellenálláserő törvényszerűségét is engedélyeztük.

A CFM56-5A1 variációra végeztük a számításokat, amelyre vonatkozóan a [13] és [23] szolgáltatott bemenő adatokat, ezeket a 2. táblázat mutatja. Számos adatot (például tolóerő) eredetileg nem SI-mértékegység szerint adtak meg, itt már csak a konvertált értékeket adjuk közre, illetve a tüzelőanyag tömegáram, a felszálló tolóerő és fajlagos fogyasztások szorzataként számított érték nem lehet fel közvetlenül az említett forrásokban.

2. táblázat
A legfontosabb peremfeltételek számszerű értékei [13]

Jellemző	Felszálló tolóerő	Fajlagos fogyasztás	Tüzelőanyag tömegáram	Levegő tömegáram	Kétáramúsági fok	Kompresszor nyomás-viszony
Szimbólum	F_t	b_f	$\dot{m}_{\text{tüa}}$	$\dot{m}_0$	α	π_k^*
Érték	111,205	$0,93 \cdot 10^{-5}$	1,034	386,5	6,0	26,5
Mértékegység	kN	kg/(Ns)	kg/s	kg/s	–	–

Az áramlási tér öt fő határfelülettel rendelkezik, ezek közül három peremfeltétel, kettő pedig periodikus határfelület. Az előbbi három a levegő belépése a kompresszortól, a kilépés a turbina felé, valamint a tüzelőanyag bejuttatása, amelyekhez a kiinduló számszerű adatokat a 2. táblázat foglalja össze.

A levegőbelépést az 1. és 2. ábrákon világoskék felület szimbolizálja. Itt stabil torlóponyi nyomást adtunk meg, amelyet az (1) egyenlet alapján számítottunk, a szívócsatorna össznyomás-visszanyerési tényezőjére pedig $\sigma_{sz}=0,97$ -ot feltételezve, a Nemzetközi Egyezményes Légkör tengerszíni, statikus körülményei között:

$$p_2^* = p_0^* \sigma_{sz} \pi_k^* = 101325 \text{ Pa} \cdot 0,97 \cdot 26,5 = 2604559 \text{ Pa} \quad (1)$$

Mivel a CFD beállításában referencianyomás gyanánt 1 bart adtunk meg, a bemenet definíciójában az (1)-ben közölt értékhez képest ennyivel kevesebb szerepel.

³ Probability Density Function, sűrűségfüggvény.

A kompresszort elhagyó közeg torlóponthi hőmérsékletéhez meg kell becsülni az izentropikus hatásfokot, amelyet $\eta_s^k = 0,88$ -nak véve a kompresszor kilépő hőfoka a (2) szerint számolható:

$$T_2^* = T_0^* \left(1 + \frac{\pi_k^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}{\eta_s^k} \right) = 288 \text{ K} \cdot \left(1 + \frac{26,5^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1}{0,88} \right) = 795,4 \text{ K} \quad (2)$$

A turbina előtti keresztmetszet az 1. és 2. ábrákon piros felületként szerepel. Az égéstermék kilépésére vonatkozóan a gázkeverék teljes (levegő és tüzelőanyag) tömegáramát vesszük, természetesen a 20 fúvókára jutó összmenyiség egy huszadát, ezt a (3) egyenlet alapján lehet meghatározni. Az égéstérbe belépő levegő tömegáramban figyelembe kell venni azt, hogy a belső áramba nem a teljes közegettszámítás jut be, továbbá körülbelül $\delta = 10\%$ -nyi levegőelvétellel számolunk.

$$\dot{m}_{ki} = \left[\dot{m}_0 \frac{1-\delta}{\alpha+1} + \dot{m}_{tüa} \right] \frac{1}{20} = \frac{\left[386,46 \frac{0,9}{7,1} + 1,034 \right] \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{20} = 2,501 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (3)$$

A tüzelőanyag betáplálásánál, amelyet a 2. ábrán lila szín mutat, mindkét felületen (belső és külső kúpon is) történik porlasztás a felszálló üzemmódon, ezért együttesen jelöltük azokat ki mint peremfeltételt. A mennyiség értelemszerűen a 2. táblázatban megadott érték egy huszada.

A peremfeltételek mellett még egy periodikus interfészt is meg kell adni, hiszen nem a teljes égéstér, hanem annak csupán egy fúvókára jutó szeletét vizsgáltuk. Az a két felület, amelyet az egymással 18° -ot bezáró metszősíkok hoznak létre, ezen a kapcsolaton keresztül köthetők össze.

A szimuláció lefutását befolyásoló beállítások közül a reziduumból négyzetes középértékére vonatkozóan 10^{-6} nagyságrendet írtunk elő, a maximális iteráció számát 1000-re választottuk. Az időskálára vonatkozóan fizikai variációt választottunk, 10^{-2} s időléptékkel, a korábbi égési szimulációk során szerzett tapasztalatok alapján. Definiáltunk különböző kifejezéseket, mint például átlagos felületi hőmérséklet a kilépő keresztmetszetben, amelyek alapján már a megoldás során is meg lehet állapítani, hogy az adott jellemző milyen értéket vesz fel, és ez megfelel-e az elvárásoknak, vagy érdemes lehet megszakítani a megoldó futását, és módosított bemenő paraméterekkel újraindítani a szimulációt.

4. A szimuláció ellenőrzése

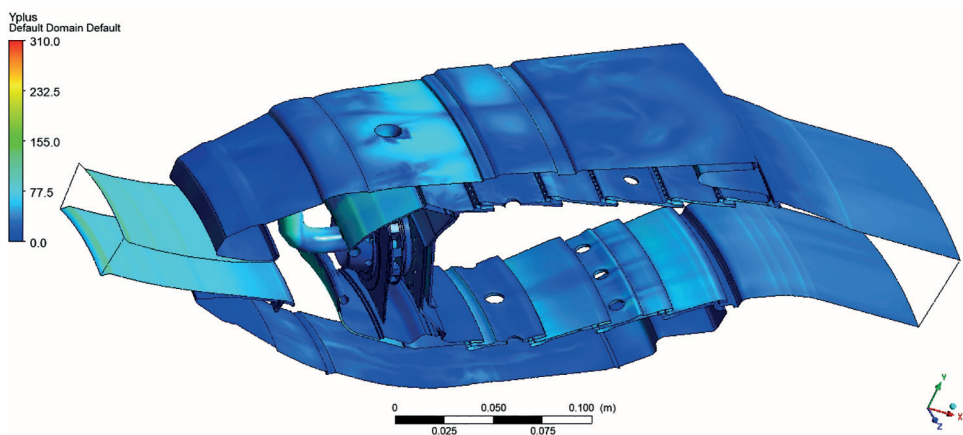
A numerikus áramlástani szoftver által kiadott eredményeket többféleképpen is ellenőrizni szükséges. Ennek fő lépései a verifikálás és a validálás. Előbbi alatt azt értjük, hogy megvizsgáljuk, vajon helyes egyenleteket alkalmaztunk-e, vagyis jó volt-e a modellalkotás, továbbá kellő mértékben felbontottuk-e az áramlási teret, azaz a diszkrétizáció során szükségszerűen előálló hibák nem lépnek-e túl egy bizonyos határt [26]. A modell verifikációjának egy további lépése az iterációs konvergencia ellenőrzése, vagyis az egyes jellemzők tartanak-e egy bizonyos végértékhez, illetve a reziduumból nullába konvergálnak-e. A validáció már nemcsak a matematikai

hibákat vizsgálja, hanem lehetőség szerint valós mérési adatokhoz hasonlítjuk a szimuláció eredményeit, ezáltal a probléma fizikai megoldásának tökéletességére ad választ.

4.1. Az iterációs konvergencia és dimenziómentes faltávolság ellenőrzése

A szimuláció lefutása során az egyes paraméterek az égésre jellemző apró turbulenciák, keveredési ingadozások miatt messze nem olyan gyorsan állnak be adott értékre, mint az égést nélkülöző áramlástani vizsgálatok során. Ez utóbbiak esetében elegendő lehet 100-200 iteráció is, a jelenlegi körülmények között indokolt volt 1000-re állítani a maximális iterációszámot, mert a tömeg- és impulzusreziduumok körülbelül 300 iteráció után érték el azt a nagyjából $6 \cdot 10^{-4}$ határértéket, amely alá már nem tudtak csökkenni.

Fontos még a dimenziómentes faltávolság ellenőrzése, amelynek értékére a szakirodalom $30 < y^+ < 300$ a tartományt szokta javasolni [24], ennek legszélsőségesebb értéke 310 volt a szimulációk során, tehát azt mondhatjuk, hogy a hálózás a falak közeli határréteget kellő pontossággal fel tudja bontani, és pontos eredményeket tud szolgáltatni. Az értékek eloszlását a 4. ábra mutatja.



4. ábra

A dimenziótlán faltávolság eloszlása a szilárd falak mentén [a szerzők ANSYS-szimulációja]

4.2. Hálófüggetlenség-vizsgálat

A hálófüggetlenséget legalább három, fokozatosan sűrített hálózással lehetséges megvizsgálni. Mivel a 2. fejezetben leírt névleges háló körülbelül 5,6 millió csomópontot és 15,3 millió elemet jelentett, ezért ennél az ellenőrzésnél a névlegesnél egy kisebb és egy nagyobb hálózattal folytattunk vizsgálatot. A kiemelt paraméter a kilépő felületre átlagolt gázhőmérséklet, amelynek értékeit a legfontosabb hálókra jellemző paraméterekkel a 3. táblázat mutatja.

Az ANSYS CFX Post programja lehetőséget kínál függvények értékének kiszámítására, így a kilépésen a felületre átlagolt hőfok meghatározható.

3. táblázat
A hajtóművön mért fontosabb értékek [a szerzők saját adatai]

Háló sorszáma	1	2	3
Csomópontok száma (millió)	6,043	5,598	5,154
Elemsszám (millió)	16,610	15,305	13,612
Hálósűrítési viszonyyszám, r (-)	1,0852	1,1243	
Felületre átlagolt kilépő hőmérséklet (K)	1533,45	1535,2	1537,55
Abszolút hiba (f_{ij})	1,75	2,35	

Mivel a háló nem strukturált, ezért a hálókongrancia-index számításánál az alábbi eljárást kell alkalmazni [26]. A finomabb hálóra vonatkozó adatokból kell elsődlegesen kiindulni, és a kongrancia mértékét (p) számítani a (4) egyenlet alapján.

$$p = \frac{|\ln|f_{32}/f_{21}| + q(p)|}{\ln r_{21}} \quad (4)$$

A (4) egyenletben a $q(p)$ az állandó hálósűrítéshez képesti eltérésből adódó hiba, amelynek számítását az (5) képlet mutatja. Tekintettel arra, hogy ez a jellemző a kongrancia mértékétől függ, a (4)–(5) egyenleteket $q(p)=0$ kezdeti feltételezéssel indítva iterációval kell megoldani. Az (5) egyenletben az s változó az f_{32} és f_{21} változók hányadosának előjelét jelenti.

$$q(p) = \ln \frac{r_{21}^p}{r_{32}^p - s} \quad (5)$$

Az iteráció végeredményeként a (6) egyenletben látható eredmények adódtak.

$$p = 0,5461; \quad q(p) = -0,08587 \quad (6)$$

Ezáltal a hálókongrancia-index a két esetre a (7) egyenlet alapján egy [18] által javasolt $F_s=1,25$ biztonsági tényezővel, valamint a két finomabb hálóval kapott eredmények relatív hibáiból számítható.

$$GCI_{21} = F_s \left| \frac{f_2 - f_1}{f_1} \right| \frac{1}{r_{21}^p - 1} = 0,006139 \quad (7)$$

Hasonlóképpen határozható meg a két durvább hálóra vonatkozó kongranciaindex, amely azért érdekes, mert a hálósűrítés léptékének és a kongrancia mértékének segítségével megállapítható, hogy a számításaink az aszimptotikus tartományba esnek-e. Ez a feltétel akkor teljesül, ha a finomabb hálóra számított kongranciaindex transzformált értéke közel egyenlő a durvább hálóra érvényes értékével, ahogy ez a (8) egyenletben látható. Mivel a kettejük hányadosa majdnem pontosan egységnyi, ezért kijelenthető, hogy megoldásunk elérte az aszimptotikus tartományt, tehát kongranciának minősül.

$$GCI_{32} = F_s \left| \frac{f_3 - f_2}{f_2} \right| \frac{1}{r_{21}^p - 1} = 0,007557; \frac{r^p GCI_{21}}{GCI_{32}} = \frac{0,007556}{0,007557} = 1,001 \quad (8)$$

A továbbiakban ismertetett adatok a szimuláció végeredménye által szolgáltatott értékek Richardson-extrapolációjával nyert mennyiségek [22], amelynek általános képletét, valamint a turbina előtti hőmérsékletre vonatkozóan a behelyettesítést a (9) egyenlet ismerteti.

$$f' = \frac{r_{21}^p f_1 - f_2}{r_{21}^p - 1}; (T_3^*)' = \frac{0,006139^{0,54} \cdot 1533,45 \text{ K} - 1535,2 \text{ K}}{0,006139^{0,54} - 1} = 1525,92 \text{ K} \quad (9)$$

A további extrapolált értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat

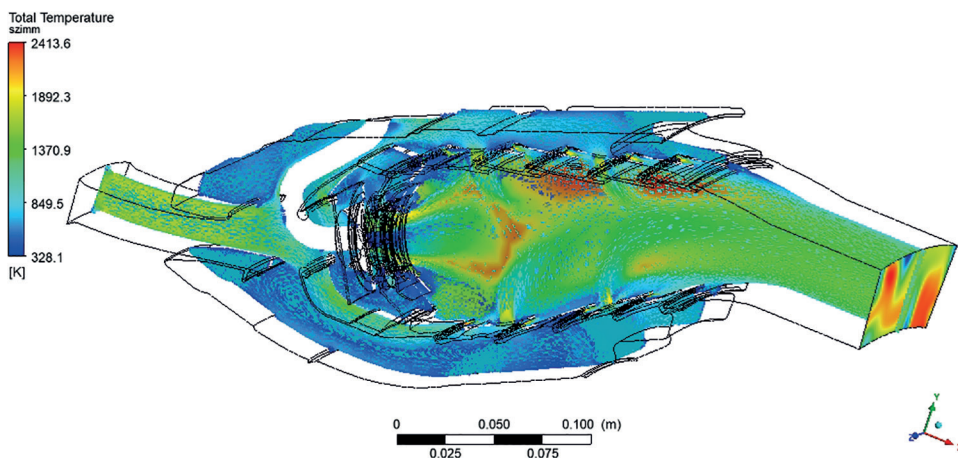
Extrapolált szimulációs paraméterek [Excel-táblázat az ANSYS-szimulációk kimenetei alapján]

Jellemző	Szimbólum	Érték	Mértékegység
Kompresszor utáni statikus nyomás	$p_{2'}$	25,206	bar
Turbina belépő torlóponthi nyomás	$p_3^{* '}$	23,431	bar

4.3. Az eredmények összehasonlítása a rendelkezésre álló adatokkal

A legfontosabb érték természetesen a turbina előtti gázhőmérséklet, amelyet [23] alapján vizsgálhatunk, az ott megadott érték $T_3^* = 1537 \text{ K}$. A 4.2. fejezet alapján az extrapolálással megkapható gázhőmérséklet $(T_3^*)' = 1525,92 \text{ K}$ -re adódott, vagyis a hiba mindössze:

$$\delta T_3^* = \frac{T_3^* - (T_3^*)'}{T_3^*} \cdot 100\% = 0,7209\% \quad (10)$$



5. ábra

A hőmérséklet-eloszlás a szimmetriasíkokban és a kilépő keresztmetszetben, valamint a sebességvektorok a szimmetriasíkokban [a szerzők ANSYS-szimulációja]

Az 5. ábrán látható a szimmetriasíokban érvényes hőmérséklet-eloszlás, valamint ugyanezen a felületen a sebességvektorok is megfigyelhetők. Látszik a hőfokmező a turbina belépésénél is.

Egy további érdekes validálási lehetőséget kínál a hajtóművön mért adatok alapján a nagynyomású kompresszor kilépésénél mért statikus, valamint a turbina előtti torlóponti nyomás, amelyeket az 5. táblázat mutat. Feltüntettük a kisnyomású turbina második fokozatában mérhető torlóponti nyomást is, mert ez is felhasználható az adatok helyességének ellenőrzésében, még ha magában a szimulációban nem is szerepel közvetlenül. A táblázatban megadjuk a gyári jelölést is, ami alapján a mért érték a hajtóművön beazonosítható, azonban a továbbiakban a saját elnevezéseinkkel hivatkozunk az egyes paraméterekre.

5. táblázat
A hajtóművön mért fontosabb értékek [a szerzők saját adatai]

Jellemző	Gyári jelölés	Szim-bólum	Érték	Mértékegység
Kompresszor utáni statikus nyomás	p_{s3}	p_2	24,813	bar
Kisnyomású turbina 2. fokozat torlóponti nyomás	p_{t495}	$p_{KNyK,2}^*$	3,9984	bar
Kisnyomású turbina kilépő torlóponti nyomás	p_{t54}	p_4^*	1,4146	bar

A kompresszor kilépő statikus nyomására vonatkozóan a mért és szimulált eredmények hibája a (11) egyenletben látható.

$$\delta p_2 = \frac{p_2 - (p_2)'}{p_2} \cdot 100\% = 1,588\% \quad (11)$$

Mivel a CFM56 típusnál a „495” elnevezésű keresztmetszet a kisnyomású turbina második fokozat állólapátjának belépését jelenti, az ott mért nyomást vissza kell számolni a nagynyomású turbina kilépő nyomására, hogy további validálásra alkalmas adatot nyerhessünk. Ezért először is vizsgáljuk meg, hogy a kisnyomású turbina fennmaradó három fokozata (másodiktól a negyedikig) mekkora nyomásviszonyt dolgoz fel, és ebből mekkora az egy fokozatra jutó átlagos nyomásviszony. Ez látható a (12) egyenletben.

$$\pi_{KNyT,2-4} = \frac{p_{KNyK,2}^*}{p_4^*} = \frac{3,9984 \text{ bar}}{1,4146 \text{ bar}} = 2,8264 \rightarrow \pi_{KNyT}^{1,átl} = \sqrt[3]{\pi_{KNyT,2-4}} = 1,4139 \quad (12)$$

A teljes kisnyomású turbinára jutó nyomásviszony az egy fokozat nyomásviszonyának és a megadott három fokozat nyomásviszonyának szorzataként becsülhető úgy, hogy a legelső fokozatra az átlagosnál nagyobb, $\pi_{KNyT}^1 = 1,6$ nyomásviszonyt feltételezünk, mivel a turbina általában hátrafelé csökken a fokozati munka. Az eredményt a (13) egyenlet mutatja.

$$\pi_{KNyT} = \pi_{KNyT}^1 \cdot \pi_{KNyT,2-4} = 1,6 \cdot 2,8264 = 4,522 \quad (13)$$

Következő lépésként a nagynyomású turbina kilépő torlóponti nyomásának meghatározása történhet, ezt a (14) egyenlet szerint.

$$p_{4,2}^* = p_4^* \cdot \pi_{KNyT} = 1,4146 \text{ bar} \cdot 4,522 = 6,397 \text{ bar} \quad (14)$$

A gázturbinás sugárhajtóművek égésteraiben az össznyomás-visszanyerési tényező leggyakrabban

közé esik, ennél a hajtóműnél a középértéket alapul véve számítható a turbina előtti torlóponyi nyomás, továbbá annak relatív hibája, ahogyan a (15) mutatja.

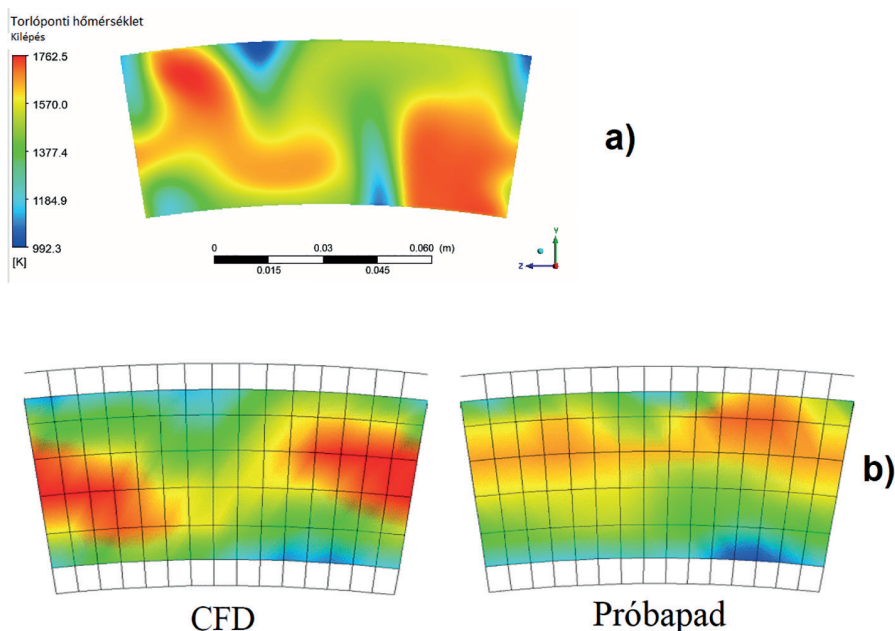
$$p_3^* = p_2^* \cdot \sigma_e = 26,045 \text{ bar} \cdot 0,94 = 24,482 \text{ bar}; \delta p_3^* = \frac{p_3^* - (p_3^*)}{p_3^*} \cdot 100\% = 4,294\% \quad (15)$$

A turbina belépő torlóponyi nyomás relatív hibája a legnagyobb eddig, feltehetően a többszörös becslés áll ezen eltérés mögött. Amennyiben ezt a jellemzőt is lehetne mérni, valószínűleg ez a hiba is csökkenne. Ellenőrizhetjük azonban a nagynyomású turbinára jutó nyomásviszony alapján, amely a (16) egyenletben látható.

$$\pi_{NyT}^* = \frac{p_3^*}{p_{4,2}^*} = \frac{24,482 \text{ bar}}{6,397 \text{ bar}} = 3,827 \quad (16)$$

Ez igen nagy értéknek tűnik első közelítésben, figyelembe véve, hogy a CFM56 egyetlen nagynyomású turbinafokozattal rendelkezik [23], de tekintettel arra, hogy körülbelül 12-es nyomásviszonyú kompresszor hajtását kell megvalósítania, ez az érték reális [9, p. 522].

Bár eltérő típusú hajtóművek égéstereiről van szó, a [12]-ben részletezett vizsgálat ugyanis a PW6000 gázturbinával foglalkozott, a mérete és a technológia szintje nagyon hasonló, ezért összevethető az általunk vizsgált CFM56-5-tel. A 6. ábra a) részén az aktuális kutatás, a b) részén pedig a [12]-ben található CFD- és próbapadi adatok figyelhetők meg, és jellegre igen hasonlatosak egymáshoz, tehát ez alapján is a CFM56 égéstermodell használhatóságáról győződhetünk meg.



6. ábra

A hőmérséklet-eloszlás a kilépő keresztmetszetben: a) a vizsgált CFM56-5 esetén; b) PW6000 CFD- és próbapad adatok (a) a szerzők ANSYS-szimulációja, b) [12])

Összegzésképpen megállapítható, hogy mivel minden paraméter 5%-on belüli eltéréssel rendelkezik a mért adatokhoz képest, a szimuláció validálása sikeresnek tekinthető.

5. Összefoglalás

A szerzők a cikkben egy nagy kétáramúsági fokú gázturbinás sugárhajtómű égésterének háromdimenziós modelljét készítették el olyan módosításokkal a tényleges kialakításhoz képest, amely az érdemi égési folyamatra nincs kihatással, így a létrehozott geometria alkalmas a hajtóműben lejátszódó égés modellezésére.

A kialakított háromdimenziós áramlási teret három különböző hálóval vizsgáltuk, annak érdekében, hogy az eredmények hálófüggetlenségét meg lehessen állapítani. A szakirodalmi ajánlások alapján elvégzett ellenőrzés megállapította, hogy a háló elegendően finom, a szimulációk a konvergencia szakaszon helyezkednek el, így a várt értékek további finomítás nélkül Richardson-extrapolációval számíthatók.

Az extrapolált értékeket mért mennyiségekkel összehasonlítva megállapítható volt, hogy a szimuláció kellő mértékben közelíti a valóságot, tehát az eredményei elfogadhatók. Ez igen fontos abból a szempontból, hogy legfontosabb feladatát csak a jelen vizsgálatokat követően fogja ellátni, amikor a további kutatások során alternatív tüzelőanyagok égési folyamatait kívánjuk elemezni a most megalkotott modellen.

Felhasznált irodalom

- [1] R. Andoga, L. Főző, R. Kovács, K. Beneda, T. Moravec, M. Schreiner, „Robust Control of Small Turbojet Engines,” *Machines*, 7. évf. 1. sz. p. 3. 2019. Online: <https://doi.org/10.3390/machines7010003>
- [2] R. Andoga, L. Főző, M. Schrötter, S. Szabó, „The Use of Ethanol as an Alternative Fuel for Small Turbojet Engines,” *Sustainability*, 13. évf. 5. sz. p. 2541. 2021. Online: <https://doi.org/10.3390/su13052541>
- [3] A. Bo, E. Giacomazzi, G. Messina, A. Di Nardo, „Analysis of a Fuel Flexible Micro Gas Turbine Combustor Through Numerical Simulations,” *Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, 140. évf. 12. sz. 2018. Online: <https://doi.org/10.1115/1.4040737>
- [4] CFM International, *CFM56*. 2018. június. Online: www.cfmaeroengines.com/wp-content/uploads/2019/12/Brochure_CFM56_2018.pdf
- [5] CFM International, *CFMI Looks to Future with New CFM56-9*. 1996. április 17. Online: www.cfmaeroengines.com/press-articles/cfmi-looks-to-future-with-new-cfm56-9/
- [6] T. Giampaolo, *Gas Turbine Handbook: Principles and Practices*. 3rd edition. Fairmont Press, 2006.
- [7] M. Giridharan, S-M. Mongia, H. Jeng, „Swirl Cup Modeling – Part VIII: Spray Combustion in CFM-56 Single-Cup Flame Tube,” *41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. Reno, Nevada, 2003. január 6–9. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2003-319>
- [8] G. Hsiao, H. Mongia, „Swirl Cup Modeling Part 2: Inlet Conditions,” *41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. Reno, Nevada, 2003. január 6–9. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2003-1350>

- [9] A. A. Иноземцев, В. Л. Сандрацкий, „Газотурбинные двигатели,” ОАО Авиадвигатель, г. Пермь. 2006.
- [10] J. S. Kinsey, W. Squier, M. Timko, Y. J. Dong, R. Logan, „Characterization of the Fine Particle Emissions from the Use of Two Fischer–Tropsch Fuels in a CFM56-2C1 Commercial Aircraft Engine,” *Energy & Fuels*, 33. évf. 9. sz. pp. 8821–8834. 2019. Online: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00780>
- [11] Y. Liu, X. X. Sun, V. Sethi, D. Nalianda, Y. G. Li, L. Wang, „Review of modern low emissions combustion technologies for aero gas turbine engines,” *Progress in Aerospace Sciences*, 94. évf. pp. 12–45. 2017. Online: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.08.001>
- [12] R. E. Malecki, C. M. Rhie, R. G. McKinney, H. Ouyang, S. A. Syed, M. B. Colket, R. K. Madabhushi, *Application of an Advanced CFD-Based Analysis System to the PW6000 Combustor to Optimize Exit Temperature Distribution: Part I – Description and Validation of the Analysis Tool*. ASME Turbo Expo 2001. Online: <https://doi.org/10.1115/2001-GT-0062>
- [13] N. Meier, *Civil Turbojet/Turbofan Specifications*. Online: www.jet-engine.net/civtfspec.html
- [14] M. Melot, J.-Y. Trépanier, R. Camarero, E. Petro, „Comparison of Two Models for Radiative Heat Transfer in High Temperature Thermal Plasmas,” *Modelling and Simulation in Engineering*, pp. 1–7. 2011. Online: <https://doi.org/10.1155/2011/285108>
- [15] H. C. Mongia, M. Al-Roub, A. Danis, D. Elliott-Lewis, A. Johnson, S. Vise, S. M. Jeng, V. McDonnell, G. Samuelsen, „Swirl cup modeling. I,” In *37th Joint Propulsion Conference and Exhibit*, Salt Lake City, UT, 2001. július 8 – július 11. 2001. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2001-3576>
- [16] H. C. Mongia, W. Dodds, *Low Emissions Propulsion Engine Combustor Technology Evolution: Past, Present and Future*. ICAS Congress, 2004. Online: www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2004/PAPERS/609.PDF
- [17] H. C. Mongia, „GE Aviation Low Emissions Combustion Technology Evolution,” *SAE Technical Paper Series*, 2007. szeptember 17. Online: <https://doi.org/10.4271/2007-01-3924>
- [18] NASA NPARC Alliance Verification and Validation, *Examining Spatial (Grid) Convergence*. Online: www.grc.nasa.gov/WWW/wind/valid/tutorial/spatconv.html
- [19] K. A. das Neves, *Combustion Analysis on a CFM56-3 Engine*. MSc diplomaterv, Covilhã, 2018. Online: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/8325/1/6029_12503.pdf
- [20] L. Nyulaszi, R. Andoga, P. Butka, et al. „Fault Detection and Isolation of an Aircraft Turbojet Engine Using a Multi-Sensor Network and Multiple Model Approach,” *Acta Polytechnica Hungarica*, 15. évf. 2. sz. pp. 189–209. 2008. Online: <https://doi.org/10.12700/APH.15.1.2018.2.10>
- [21] de Oliveira, J. M. P., „CFD Analysis of the Combustion of Bio-Derived Fuels in the CFM56-3 Combustor.” MSc diplomaterv, Covilhã, 2016. Online: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/6527/1/4691_9311.pdf
- [22] P. J. Roache, „Perspective: A Method for Uniform Reporting of Grid Refinement Studies,” *Journal of Fluids Engineering*, 116. évf. 3. sz. pp. 405–413. 1994. Online: <https://doi.org/10.1115/1.2910291>
- [23] E. Roux, *Turbofan and Turbojet Engines: Database Handbook*. Editions Elodie Roux, 2007.
- [24] M. S. Salim, S. C. Cheah, „Wall y^+ Strategy for Dealing with Wall-bounded Turbulent Flows,” *International Multiconference of Engineers and Computer Scientists 2009*, 2. köt. pp. 2165–2170. Online: www.iaeng.org/publication/IMECS2009/IMECS2009_pp2165-2170.pdf

- [25] J. D. Scheelhaase, „Local Emission Charges – A New Economic Instrument at German Airports,” *Journal of Air Transport Management*, 16. évf. 2. sz. pp. 94–99. 2010. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2009.10.008>
- [26] L. E. Schwer, *Is Your Mesh Refined Enough? Estimating Discretization Error using GCI*. 7. LS-DYNA Anwenderforum, Bamberg, 2008. Online: www.dynamore.de/de/download/papers/forum08/dokumente/l-l-03.pdf
- [27] T. S. Snyder, J. F. Stewart, M. D. Stoner, R. G. McKinney, „Application of an Advanced CFD-Based Analysis System to the PW6000 Combustor to Optimize Exit Temperature Distribution: Part II – Comparison of Predictions to Full Annular Rig Test Data,” *ASME Turbo Expo: Power for Land, Sea and Air*. 2001. június 4–7. Online: <https://doi.org/10.1115/2001-GT-0064>

Computational Fluid Dynamic Model of CFM56 Turbofan Engine Combustion Chamber

Nowadays, similarly to the other fields of transportation, aviation searches for alternatives in order to replace conventional fossil fuels. However, the proven engine hardware is not able to support arbitrary combustion processes, during the selection of the alternatives, besides the momentary impact on performance, the long-term consequences must also be taken into account. In the present paper, the authors develop the three-dimensional model of the combustion chamber from a CFM56-5 high bypass ratio turbofan engine, which is in service in the Hungarian Defence Forces as the power plant of Airbus A319 transport aircraft. The computational fluid dynamics investigation was carried out with conventional jet fuel in order to allow comparison with the real data available from operation of the engine. After validation, the model is found to be correct, thus, it will be suitable for the assessment of alternative fuels in the subsequent part of the research.

Keywords: gas turbine engine, computational fluid dynamics, simulation, combustion, validation, kerosene

Dr. Beneda Károly, PhD
adjunktus
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Repüléstudományi és Hajózási Tanszék

beneda.karoly@kjk.bme.hu
orcid.org/0000-0003-1900-7934

Károly Beneda, PhD
Assistant Professor
Budapest University of Technology and
Economics
Faculty of Transport Engineering and
Vehicle Engineering
Department of Aeronautics and Naval
Architecture

beneda.karoly@kjk.bme.hu
orcid.org/0000-0002-9876-6760

Dr. Kavás László, PhD egyetemi docens Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527	László Kavás, PhD Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-7375-3527
Dr. Varga Béla, PhD egyetemi docens Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825	Béla Varga, PhD Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825

Paulov Attila

Légiforgalmi áramlásszervezési eljárások bevezetése a Magyar Honvédség repülőterein

A Zrínyi 2026. Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programnak köszönhetően a katonai légi forgalom folyamatosan növekszik hazánkban. Az új légi járművek beszerzésével, továbbá a rendszerben tartott típusokkal régiós szinten is jelentős légi forgalmat bonyolít le a Magyar Honvédség. Az eszközpark fejlesztésével párhuzamosan előtérbe helyeződött a katonai légiforgalmi szervezési rendszer további fejlesztésének az igénye is, amely képes válaszolni a megnövekedett forgalmi igények adta kihívásokra. A kiképzési repülések és szállítófeladatok növekedése, az ezzel párhuzamosan megrendezésre kerülő hazai és nemzetközi gyakorlatok, valamint a jövőben várható további légijármű-típusok megjelenése már olyan mértékű és komplexitású forgalmat fog generálni a katonai légiforgalmi szolgálatok számára, amelyek áramlásszervezési eljárások bevezetését és alkalmazását fogják generálni. Jelen tanulmány célja, hogy bemutassa a légiforgalmi áramlásszervezés általános eljárásait és fázisait, technológiai eszközeit, bemutassa a Magyar Honvédségben alkalmazott alapszintű eljárásokat, továbbá rámutasson a lehetséges fejlesztési lehetőségekre, beavatkozási pontokra.

Kulcsszavak: légiforgalmi áramlásszervezés, légi forgalom, légiforgalmi szolgálatok, döntéstámogató eszköz, légiforgalmi irányító, légiforgalmi korlátozás, kapacitás

1. Bevezetés

A légiforgalmi áramlásszervezés (ATFM¹) a közforgalmi repüléssel egy időben jelent meg, tekintettel arra, hogy a polgári repülés növekedésével szükséges volt az induló, érkező és útvonalon közlekedő forgalmat optimálisan áramoltatni a késések elkerülése érdekében. Az idő múlásával, illetve a repülés fejlődésével többfajta módszert kezdtek alkalmazni a légi forgalom szervezésére, a nyomtatott térképeken való számításoktól kezdve, a tervtáblákon át, egészen a napjainkban alkalmazott komplex adatbázisokon alapuló rendszerekig.

A különböző eljárások alkalmazásának idejétől függetlenül, valamennyi rendszer alapja az induló és érkező légi járművek időalapú elkülönítése volt, ez a megközelítés napjainkban is érvényes. Az ATFM lényegét talán a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO)² fogalmazta meg a legátfogóbban, amely szerint a légiforgalmi áramlásszervezés lehetővé teszi

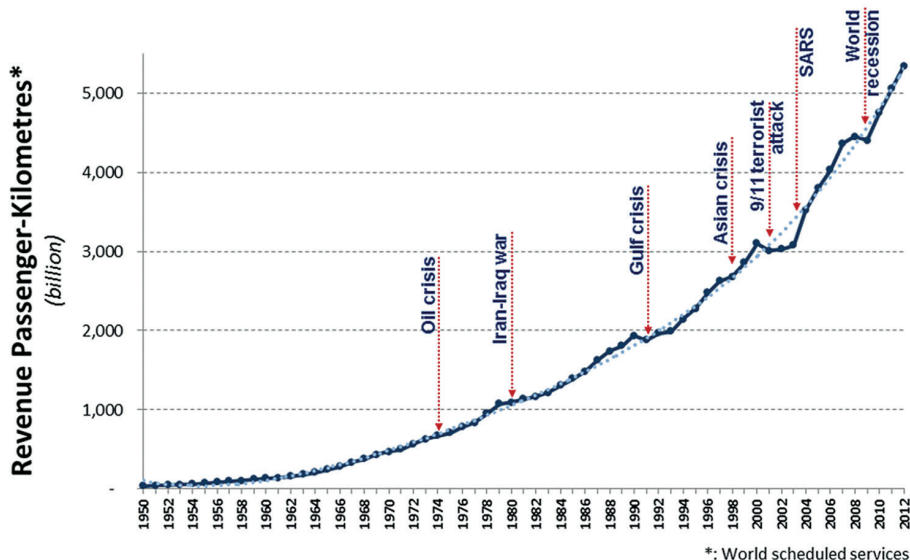
¹ Air Traffic Flow Management.

² ICAO – International Civil Aviation Organization.

a légiforgalom-szervezés hatékonyságát és eredményességét, növeli a repülés biztonságát, továbbá hozzájárul a költséghatékonysághoz és a környezetvédelemhez.³

A légi forgalom biztonságos, rugalmas és hatékony szervezésének igénye a légi közlekedés növekedésével egyre nagyobb teret nyert. A nemzetközi légi forgalom – mind a forgalmi mutatók, mind pedig az azt kiszolgáló infrastruktúra tekintetében – az 1950-es évektől kezdve, egészen 2020 márciusáig folyamatos növekedési pályán volt, amely tendenciát a nagyobb háborús konfliktusok, terrortámadások, ipari katasztrófák és más rendkívüli események sem tudtak érdemi recesszió okozásával befolyásolni.

The world aviation - 1950 to 2012



1. ábra

A világ légi közlekedésének alakulása 1950–2012 között utaskilométer alapján [8]

A napjainkban tapasztalható Covid-19 okozta pandémiás helyzet a légi közlekedésre eddig negatív hatású események egyikéhez sem hasonlítható, tekintettel arra, hogy azok többsége nem volt az iparágra hosszú távú, globális kihatással, így egyelőre csak korlátozottan lehetséges megfelelő prognózist felállítani a forgalom jövőbeni alakulására. Az európai légi közlekedés áramlásszervezési feladatait ellátó EUROCONTROL Network Manager (NM) részletes statisztikát vezet a Covid-19 okozta visszaesés mértékéről, amely szerint a recesszió jelenlegi mértéke (2021. március) a 2019. évi forgalmi mutatókhoz képest csak Európán belül –60%-os értéket mutat (1. táblázat).

A polgári légi közlekedés – a fenti ábrán látható adatoknak megfelelően – jelentős válságban van, amely azonban a katonai légi közlekedésre – különös tekintettel Magyarország esetében – nem mondható el. Annak ellenére, hogy a polgári oldalon a 2019. évi forgalmi szintre való lépés időpontja nehezen beazonosítható, továbbá, hogy számos légitársaság és légi

³ ICAO – Air Traffic Flow Management (ATFM)/Collaborative Decision Making (CDM) [9].

navigációs szolgáltató (ANSP)⁴ csak nehezen lesz képes felülemelkedni a jelenlegi válságon, a védelmi szektorra fordított állami kiadások növekedése folyamatos, és nem elhanyagolható hatást gyakorol a légtér felhasználásával kapcsolatos folyamatokra. A 2016. évi varsói NATO-csúcstalálkozón vállalt, a védelmi költségvetés – GDP 2%-át elérő – növelését célzó intézkedések haditechnikai beszerzéseket, kutatás-fejlesztési projekteket is vonnak maguk után, amelyek többek között állami légi járművek beszerzésében is realizálódnak.

1. táblázat
A Covid-19 okozta visszaesés mértéke [7]

REGION	24-03-2021	07-04-2021	%	vs. 2019
Intra-Europe	7 765	8 076	+4%	-67%
Europe<->Asia/Pacific	414	446	+8%	-42%
Europe<->Mid-Atlantic	68	64	-6%	-60%
Europe<->Middle-East	584	574	-2%	-57%
Europe<->North Atlantic	427	458	+7%	-60%
Europe<->North-Africa	306	258	-16%	-72%
Europe<->Other Europe	301	351	+17%	-60%
Europe<->South-Atlantic	58	59	+2%	-66%
Europe<->Southern Africa	159	175	+10%	-44%
Non Intra-Europe	2 317	2 385	+3%	-58%

A Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programnak köszönhetően a Magyar Honvédség légierő haderőneve az Airbus A319 és a Falcon 7X légi járművek megjelenésével több olyan légi járművel gazdagodott, amelyek feladatellátásuk során részt vesznek az európai és transzatlanti légi közlekedés áramlásában, felhasználói oldalról pedig részét képezik a légiforgalmi hálózatnak. Az említett légi járművek repülési feladataik jelentős részében az ATFM szabályai alá esnek, így a főbb forgalmi mutatóik hatással vannak a forgalom aktuális alakulására, mind a katonai, mind pedig a polgári oldalon egyaránt. A merevszárnnyú légi járművek beszerzése mellett szót kell említeni az újonnan rendszeresített forgószárnyas eszközökről is. A H145M könnyű helikopterek hadrendbe állításával a katonai légiforgalmi mutatók jelentős mértékben emelkedtek az MH 86. Szolnok Helikopterbázison, amely forgalmi növekmény adott esetben új légiforgalom-szervezési (ATM-)⁵ eljárások kialakítását is magukkal vonhatják a jövőben.

A haderő folyamatos fejlesztésével megjelenő új légi járművek mellett a korábban rendszeresített eszközök is operatív alkalmazásban állnak, mindemellett hazai és nemzetközi gyakorlatok is zajlanak, így a három katonai repülőtér vonatkozásában a Magyar Honvédség régiós szinten is kiemelkedő eredményt tud felmutatni a katonai légi forgalom növekedése terén. A nevezett körülmények, valamint a jövőben rendszeresítendő további légi járművek (H225M, KC-390) megjelenése miatt szükségessé válik az ATFM-eljárások implementációja annak érdekében, hogy a megnövekedett katonai forgalmi igényeket a Magyar Honvédség repülőterein települő légiforgalmi szolgálati (ATS)⁶ egységek képesek legyenek kiszolgálni. Tekintettel arra, hogy a Magyar Honvédség – az EUROCONTROL és ICAO terminológia

⁴ Air Navigation Service Provider.

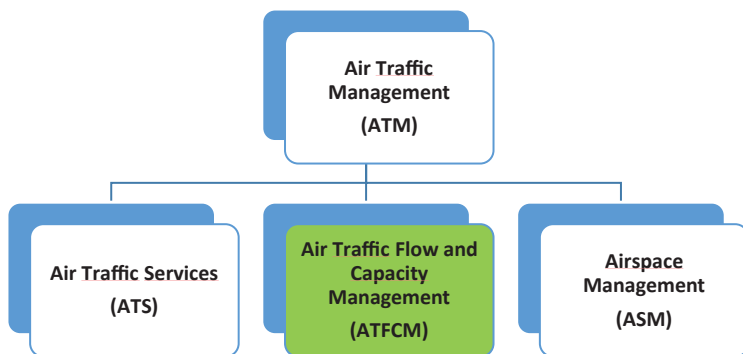
⁵ Air Traffic Management.

⁶ Air Traffic Service.

szerint – közvetlenül nem lát el ATFM-feladatokat, szükségesnek tartom bemutatni a főbb tárgybéli polgári folyamatokat, továbbá azok katonai alkalmazhatóságát.

2. Az ATFM alapjai

Az ATFM az ATM egyik önálló funkcionális eleme [3]. Alapvető célja az, hogy a rendelkezésre álló légterek kapacitásának fenntartásával kielégítsük a forgalmi igényeket oly módon, hogy ne okozunk forgalmi túlterheléseket, amelyek elkerüléséhez szükség szerint intézkedéseket adunk ki. Nem minden repülésre vonatkoznak ATFM-eljárások, tekintettel arra, hogy az kezelhetetlen és túlszabályozott lenne, így kizárólag a műszeres repülési szabályok (IFR)⁷ szerint, az európai ATFCM⁸ körzetből – vagyis jellemzően az EUROCONTROL tagállamaiból – induló légi járművek esetében alkalmazzuk azokat.



2. ábra

Az ATFCM elhelyezkedése az ATM-struktúrában [10]

A konkrét eljárások az alábbi főbb szabályozókban és kiadványokban szerepelnek részletesen:

- ICAO DOC 4444 Légiforgalom-szervezés kiadvány, valamint az ICAO Doc 7030 – Körzeti Kiegészítő Eljárások kiadvány Európai Kiegészítése, továbbá az ICAO Doc 7754 Vol II. Regionális Légi navigációs Terve;
- A Bizottság (EU) 2019/123 végrehajtási rendelete (2019. január 24.) a légiforgalmi szolgáltatási (ATM) hálózati funkciók végrehajtására vonatkozó részletes szabályok megállapításáról, 17. cikk;
- A Bizottság (EU) 2017/373 végrehajtási rendelete (2017. március 1.) a légiforgalmi szolgáltatást/légi navigációs szolgáltatásokat és más légiforgalmi szolgáltatási hálózati funkciókat és azok felügyeletét ellátó szolgáltatókra vonatkozó közös követelmények meghatározásáról, III. melléklet;
- A Bizottság 255/2010/EU rendelete (2010. március 25.) a légiforgalomáramlás-szervezésre vonatkozó közös szabályok megállapításáról;

⁷ Instrument Flight Rules.

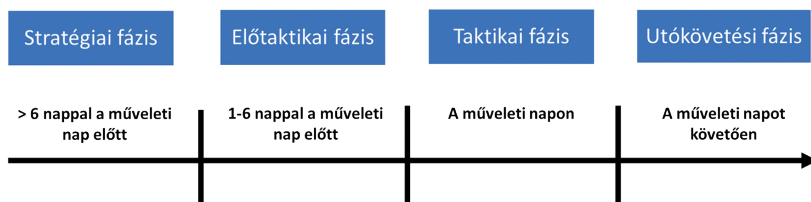
⁸ Air Traffic Flow and Capacity Management, légiforgalmi áramlás- és kapacitásszervezés.

- a Magyarország légterében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól szóló 56/2016. (XII. 22.) NFM rendelet;
- a légiforgalmi szolgálatok ellátásának és eljárásainak szabályairól szóló 57/2016. (XII. 22.) NFM rendelet;
- EUROCONTROL ATFCM Users Manual és Operations Manual;
- ANSP-szintű munkatechnológiai eljárások, kézikönyvek, együttműködési megállapodások.

A fenti szabályozókban és kiadványokban rögzített – az állami célú légi közlekedésre is érvényes – eljárásrendek betartása és betartatása nélkülözhetetlen a légi forgalom biztonságos és rugalmas áramlásának biztosításához, amely feladatot Európában az EUROCONTROL NM központi áramlásszervezési egysége (NMOC),⁹ hazánkban pedig a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt. (HC Zrt.) ATFM-egysége (FMP)¹⁰ lát el.

2.1. A légiforgalmi áramlásszervezés fázisai

Annak érdekében, hogy a légi forgalomban ne keletkezzen felesleges torlódás és késés, az ATFM-feladatokat négy különböző, stratégiai, előtaktikai, taktikai és utókövetési fázisra osztották fel [2].



3. ábra
Az ATFM fázisai [a szerző szerkesztése]

A 3. ábrán látható fázisok során alkalmazott főbb eljárások – a teljesség igénye nélkül – az alábbiak szerint összegezhetők.

1. Stratégiai fázis

Hét vagy több nappal a műveleti nap (*day of operation*) előtt történik. Ebben a fázisban folyamatos adatgyűjtés zajlik a várható forgalom összetételéről, számításba véve a nagyobb katonai gyakorlatokat, légi bemutatókat, sporteseményeket, illetve az egyéb, a légiforgalmi hálózatra közvetlenül kiható eseményeket. Ezt a feladatot az EUROCONTROL NM látja el, együttműködve a légtérfelhasználókkal, illetve az ANSP-kel. Abban az esetben, amennyiben a várható

⁹ Network Manager Operations Centre.

¹⁰ Flow Management Position.

események forgalmi terhelést fognak okozni, úgy annak elkerülése érdekében – az érintett felekkel koordinálva – az EUROCONTROL NM intézkedik a forgalmi kapacitás egyensúlyba hozásáról, amelyet a Network Operation Plan kiadványban tesz közzé, amely elérhető az EUROCONTROL Network Operations Portalon, statikus és dinamikus térképes megjelenítéssel egyaránt.

2. Előtaktikai fázis

Egy-hat nappal a műveleti nap előtt zajlik. Ebben a fázisban az EUROCONTROL NM mellett az egyes országok FMP-i is aktívan részt vesznek. Itt az adott műveleti nap forgalmi igényét hasonlítják össze a várhatóan rendelkezésre álló kapacitással. Amennyiben a forgalmi igény és a kapacitás nem áll egyensúlyban, úgy az EUROCONTROL NM elvégzi a szükséges kiigazításokat a stratégiai fázisban kidolgozott Network Operation Planben. A forgalom stabilizálása érdekében ebben a fázisban szükség szerint már konkrét ATFM-eljárásokat alkalmaznak (például kapacitásértékek csökkentése, korlátozások bevezetése).

Az előtaktikai fázisban megvalósuló munkavégzés sikerességének alapja az adott ország ATFM-egységének körültekintő és pontos elemző munkája. A nevezett egységek a környezeti adatok cseréjével, terhelésszámítással, valamint koordinációval biztosítják a kapacitásértéket meghaladó forgalmi igények kezelését, továbbá – amennyiben azok szükségesek – ATFM-intézkedések bevezetését javasolják (például korlátozás bevezetése egy adott szektor[ok] vonatkozásában) az EUROCONTROL NM felé, amelynek alátámasztására előtaktikai szektorizációs tervet készítenek.

3. Taktikai fázis

A műveleti napon zajlik. Lényege, hogy a stratégiai és taktikai fázisban az erre a napra felvázolt eljárások és intézkedések végrehajtása biztosítva legyen. Természetesen az előzetes tervekhez képest a taktikai napon számos olyan esemény következhet be, amely részben vagy teljes mértékben képes befolyásolni a folyamatban lévő repülési műveleteket, ezáltal a forgalom áramlását is. Ilyen befolyásoló tényező lehet az időjárás, a légiforgalmi irányító (ATCO)¹¹ létszámhiány, a váratlanul megnövekedett forgalmi igény, a műszaki meghibásodás, továbbá a repülőesemények is. A taktikai fázis fő szereplője az adott ország FMP-egysége, tekintettel arra, hogy a légi forgalom megfelelő áramlását jellemzően befolyásoló tényezők az esetek túlnyomó többségében lokálisan jelentkeznek (például létszámhiány, műszaki meghibásodás), így az azokkal összefüggő információkkal a nevezett egységek vannak kellő mélységben tisztában, így a taktikai fázisban a koordináció minősége az EUROCONTROL NM, és a helyi FMP-egységek között kulcsfontosságú.

Annak érdekében, hogy a túlterhelésmentes üzemelést elősegítsék, az ATFM-intézkedéseket betartsák és betartassák, valamint a szükséges tájékoztatásokat megtegyék, a helyi FMP-egységek taktikai szektorizációs tervet készítenek, folyamatosan követik a forgalmat és biztosítják a korlátozások miatt kiosztott résidőkkel (*slot time*) kapcsolatos koordinációt az illetékes légijármű-üzembentartók, továbbá ATS-egységek között.

¹¹ *Air Traffic Controller.*

4. Utólagos elemzés fázisa

A taktikai fázist követően zajlik. Alapvető célja, hogy tapasztalatokat gyűjtsünk a műveleti napon lezajlott forgalom jellemzőiről, képesek legyünk a stratégiai és előtaktikai fázisokban rögzített adatokat összehasonlítani a tényleges forgalmi mutatókkal, összegyűjtsük és elemezzük a váratlan forgalmi és egyéb események következtében megváltozott forgalmi karakterisztika hatásait a légiforgalmi hálózatra, továbbá javaslatokat tegyünk az ATFM munkatechnológiai eljárások fejlesztésére [2].

A fent nevezett fázisok hatékony megvalósítását az EUROCONTROL NM folyamatosan nyomon követi, adott esetben közvetlen intézkedési javaslatokat téve a helyi FMP-egységeknek [1]. Az ATFM-eljárások alkalmazásának alapját maguk a légiforgalmi adatok adják. A legtöbb ATFM-szempontról bekövetkező műveletszám az előtaktikai és – különös tekintettel – a taktikai fázisban történik, amelyek a forgalom folyamatos nyomon követését teszik szükségessé. Ez a monitoringfolyamat alapvetően a repülésirányítási adatokból, továbbá a már a repülési feladatot megkezdett légi járművek radaradataiból adódnak össze, amelyeket egy központi kezelőfelületen jelenítenek meg az FMP-egységek számára.

2.2. EUROCONTROL CHMI¹² alkalmazás

A légiforgalmi áramlásszervező egységek egyik alapvető rendszere az EUROCONTROL által üzemeltetett CHMI-alkalmazás, amely grafikus interfészt biztosít a légiforgalmi hálózatüzemeltetési rendszerekhez, lehetővé téve a felhasználók számára, hogy valós időben, térképalapú kijelzőkön keresztül adatokat és grafikus információkat (például útvonalakat, útvonal-attribútumokat, légtereket, repülési terv nyomvonalakat stb.) jelenítsenek meg.

A CHMI az alábbi főbb, együttműködésen alapuló interfészekkel rendelkezik, annak érdekében, hogy kiszolgálja a légi közlekedés operatív működtetésében érdekelt feleket:

- légi jármű-üzemeltetők (CIAO)¹³: légi jármű-üzemeltetőkre optimalizált CHMI-alkalmazás;
- FMP-egységek (CIFLO)¹⁴: ANSP-k számára optimalizált CHMI-alkalmazás, lehetővé teszi az ATFM-mel összefüggő információk kezelését;
- repülőterei irányítók (CITO)¹⁵: lehetővé teszi a repülőterei irányítók számára a hozzáférést az áramlásszervezési információkhoz;
- légtér-gazdálkodók (CIAM)¹⁶: lehetővé teszi a légtér-gazdálkodással összefüggő adatok megjelenítését, segítve ezáltal a légtér-gazdálkodó egységek munkáját [2].

A CHMI-alkalmazásokhoz csak azok a szervezetek férhetnek hozzá, amelyek aktívan részt vesznek az ATFM-műveletekben, a légi járművek üzemeltetésében, és a kapcsolódó támogató szolgáltatásokban. Magyarországon az ANSP-vel összefüggő tevékenységek támogatása érdekében jelenleg a HC Zrt. rendelkezik CHMI-alkalmazással.

¹² Central Human Machine Interface.

¹³ CHMI Interface for Aircraft Operators.

¹⁴ CHMI Interface for Flow Management Positions.

¹⁵ CHMI Interface for Towers.

¹⁶ CHMI Interface for Airspace Management.

A főbb ATFCM-eljárások, továbbá a CHMI rövid ismertetése során rámutattam arra, hogy az ATFM-műveleteknek számos aktív szereplője van (légtérfelhasználók, légijármű-üzemeltetők, ANSP-k stb.), akik közvetett vagy közvetlen módon hatást gyakorolnak az ATFM-folyamatokra. Az egyik ilyen a katonai fél, akinek a légi közlekedés szempontjából az egyik legkomplexebb szerepköre van, hiszen egy időben légtérfelhasználói, légi jármű és repülőtéri infrastruktúra üzemeltetői és üzemben tartói, ANSP-, jogalkotói és hatósági feladatokat lát el. Ezek közül – jelen tárgykör vonatkozásában – az ANSP- és légijármű-üzemeltető feladatok a leghangsúlyosabbak, mivel e feladatokon keresztül kerül leginkább kapcsolatba a katonai fél az ATFM-mel. Tekintettel arra, hogy a katonai ANSP-szolgáltatás ellenőrzött légtérben zajlik, továbbá, hogy a katonai fél által üzemeltetett légi járművek többsége a repülésük során az ATFM-eljárások alá esnek, szükséges megvizsgálni a katonai ATM-rendszer által alkalmazott ATFM-munkatechnológiai eljárásokat és folyamatokat.

3. Jelenlegi ATFM-eljárások a Magyar Honvédségben

A Magyar Honvédség repülőterein települő ATS-egységek jelenleg csak alapszintű – a polgári ANSP-k által is alkalmazott – ATFM-eljárásokkal rendelkeznek. Az egyik ilyen működő – habár nem önálló katonai ATFM-eljárásként definiált – eljárás a repülőtéri légiforgalmi előrejelzés, amely megjelenik a honvédelmi célú repülések és az ezzel összefüggő tevékenységek irányelveiről, a működési feltételekről és követelményekről szóló 185/2016. MH ÖHP PK intézkedésben (185/2016. MH ÖHP PK). A dokumentum – ATFM-oldalról, a légiforgalmi előrejelzés vonatkozásában – kimondja, hogy a repülések végrehajtásában érintett valamennyi félnek rendelkeznie kell minden szükséges információval a feladatuk végrehajtásához. Ezen túlmenően a repülések tervezését az intézkedés három szinten különíti el: MHP parancsnoki, katonai szervezet parancsnoki és repülő alegység parancsnoki. Az előre tervezhető repülési feladatok időrendben történnek, amelyek során kiemelem az adott évre vonatkozó éves kiképzési tervet, az adott hétre vonatkozó repülési parancsot, továbbá az adott műveleti napra vonatkozó napi repülési tervet [6]. Valamennyi tervezési feladat kivitelezése során alapvető követelmény, hogy a kidolgozott tervből a repülési feladatok biztosításában érintett szakszemélyzet pontosan tudja, hogy ki, hol, mikor, milyen feladatot, milyen céllal és milyen feltételek mellett fog végrehajtani.

A fent említett tervezési feladatok időrendje (éves, heti, napi tervek) lényegében megegyezik az ATFM-eljárások időrendi fázisaival (stratégiai = 7 vagy több nappal a műveleti nap előtt; előtaktikai = 6 nappal a műveleti nap előtt; taktikai = a műveleti napon), amelynek megfelelően a Magyar Honvédség előre tervezhető repülési feladatai jól definiálhatók és illeszthetők az ATFM-eljárásokhoz. Habár a repülésekkel összefüggő tervezési feladatok produktumaként kiadott parancsok, repülési tervek és egyéb dokumentációk hatályai világosak az ATFM fázisai vonatkozásában, addig a repülési feladatokkal összefüggő koordináció, felkészülés, előzetes információgyűjtés nincs megfelelő idősíkra helyezve, azok gyakoriságát, illetve ütemezését nem rögzítették ilyen formán. Ettől függetlenül az ATFM-ben alapvetően érintett katonai ATS-egységek számára biztosítják a forgalom prognosztizálásához szükséges adatokat, amelyek forrásai – a teljesség igénye nélkül – jelenleg a következők:

- repülési parancs (alap esetben heti rendszerességgel);
- napi repülési terv;
- repülési tervtábla (*flow chart*)

- repülési terv (*flight plan*);
- repülőtéri igénybevételi engedély;
- gyakorlattervező konferenciák;
- eligazítás a műveleti napon;
- egyéb források.

A felsorolt – nem minden forrást és módot tartalmazó – dokumentumokból és eseményekből kinyerhetők a forgalmi adatok, azonban a légiforgalmi szakszemélyzet az esetek túlnyomó többségében csak az előtaktikai fázis 1. napján (műveleti nap előtt 1 nappal) és a taktikai fázisokban tud forgalmi előrejelzést készíteni. Ezt a nevezett intézkedésben foglaltak is megerősítik, amely szerint az ATS-egységek adott repülési napra való felkészülése általános (jogsabályok, rendeletek, módszertani segédletek tanulmányozása, szimulációs gyakorlatok stb.) és napi felkészülésre (légiforgalmi helyzet pontosítása, előzetes számítások elvégzése) tagozódik. A jelenlegi eljárásrendből is látszik, hogy a napi felkészülés tartalmi elemei megfelelőek a taktikai fázis végrehajtásához szükséges forgalmi számítások elvégzéséhez, azonban nem tudják biztosítani a taktikai napon túlmenő forgalmi előrejelzés kivitelezését, amely az ATS-egységek munkaszervezésének egyik fontos eleme lenne, különös tekintettel a munkaterhelés/humán erőforrás igénybevételi idő szempontjából.

Szükséges megemlíteni, hogy a 185/2016. MH ÖHP PK intézkedés részletesen szabályozza a légijármű-szakszemélyzet igénybevételét, azonban a légiforgalmi szakszemélyzet számára nem határoztak meg igénybevételi időket, annak ellenére, hogy feladatuk ellátása során – hasonlóan a légijármű-szakszemélyzethez – közvetlenül részt vesznek a repülési feladatok végrehajtásában, akár 20 órás időtartamban is ellátva irányítói operatív feladatokat.

A fent leírtak alapján megállapítható, hogy a légi forgalom előrejelzése alapvetően biztosított a Magyar Honvédség repülőterein, azonban az ebből kinyerhető forgalmi adatok „csak” a várható forgalmat közlik az ATS-egységekkel, arra, hogy azok okoznak-e majd a taktikai napon forgalmi túlterhelést, továbbá, hogy az ATCO-k munkaterhelésére azok milyen hatást fognak gyakorolni, már nincsenek eljárások lefektetve, habár az előrejelzés mellett mindezek szintén az ATFM alapját adnák. Ennek megfelelően fontos, hogy az előrejelzés során keletkezett forgalmi adatokat milyen módon használjuk fel, illetve, hogy hogyan tudjuk azokat viszonyítani a rendelkezésre álló infrastruktúra (például repülőtér fizikai kapacitása, navigációs eszközök állapota stb.), légiforgalmi légtér (például adott időpontban a légtérben tartózkodó légi járművek száma), valamint humán erőforrás (például ATCO-k munkaterhelése) kapacitásához.

A légi forgalom pontos előrejelzése nélkülözhetetlen az operatív működés során, ahogy a forgalmi mutatók megfelelő kezelése is döntő jelentőségű lehet. ATFM-szempontból a tartós forgalmi túlterhelés kezelésének egyik alapvető módja a korlátozó intézkedések bevezetése, például egy adott szektorba egy óra alatt berepülő légi járművek számának a korlátozásával. A nevezett eljárás egyik alapvető feltétele az adott szektor/légtér kapacitásértékekkel történő ellátása mind gépszám/óra, mind pedig gépszám/perc vonatkozásban. Ahhoz, hogy a forgalmi előrejelzéseken túlmenően további ATFM-eljárásokat is alkalmazhassanak a Magyar Honvédség repülőterein, nélkülözhetetlen kapacitásértékeket felállítani mind a katonai légiforgalmi légterek, mind pedig az irányítói munkaterhelés vonatkozásában.

3.1. Kapacitásértékek meghatározása

A légiforgalmi szolgálatok ellátásának és eljárásainak szabályairól szóló 57/2016. (XII. 22.) NFM rendelet 68. § (3) bekezdésében foglaltaknak megfelelően az ATC¹⁷-szolgáltatásban részesített légi járművek száma nem lehet több, mint amennyit az érintett ATC-egység adott körülmények között biztonságosan kezelni képes. A biztonságosan kezelhető repülések legnagyobb számának meghatározása érdekében a szolgáltatást nyújtó szervezetnek irányítói körzetekre, irányítói szektorokra és repülőterekre vonatkozóan ATC-kapacitásértékeket kell meghatároznia [5]. Azon irányítói szektorokban, ahol a HC Zrt. biztosít ATC-szolgáltatást, a szektorok kapacitásértékekkel lettek ellátva, amely igaz a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér terminál légtereire is. A Magyar Honvédség repülőtereihez tartozó légterek vonatkozásában – habár azokban szintén ATC-szolgáltatást biztosítanak – egyelőre nem határoztak meg kapacitásértékeket, amely a következő okokra vezethető vissza.

A katonai repülőterek rendeltetése eltér a polgári repülőterekétől, míg a polgári repülőtereken az érkező és induló légi járművek adják a forgalom fő karakterisztikáját, valamint a személy és hasznos teher szállítása a fő irányelv, addig a katonai repülőterek elsődleges feladatai közé a békeidős gyakorló és kiképzési repülési feladatok ellátása, ezenfelül a különböző szállítási feladatok, továbbá a honi és nemzetközi gyakorlatokon való részvétel a fő szempont. Ennek megfelelően a katonai légiforgalmi légterek kapacitásértékeinek meghatározása komplex feladat, amelyhez csak részben használhatók fel a „polgári kapacitásértékek” meghatározása során figyelembe vehető változók. A kapacitásértékek meghatározásához az alábbi főbb kérdések megválaszolására kell elsősorban fókuszálni:

- Milyen légiforgalmi szolgáltatást biztosítanak az adott légtérben?
- Milyen jellemzői vannak az adott légtérnek (magasság, szomszédos irányítói szektorok és légterek, légtérostály stb.)?
- Az ATCO-knak milyen munkaterhelése van (létszámkérdések, kiképzettség általános mértéke, utánpótlás biztosítása)?
- Milyen mennyiségű és minőségű kommunikációs, navigációs és felderítő (CNS)¹⁸ rendszer érhető el az ANSP-nél, továbbá ezek milyen jellegű forgalmat predesztinálnak?
- Milyen minőségű irányítási rendszer érhető el az ANSP-nél? Milyen alkalmazásokkal segíti az ATCO-k munkáját a rendszer?
- Milyen egyéb tényezők jöhetnek számításba (például jellemző időjárási körülmények)?

A feltett kérdések alapján elmondható, hogy a kapacitásértékek meghatározása számos tényezőtől függ, azonos sémát nem lehet alkalmazni az értékek definiálása során. A légiforgalmi szektorok kapacitásának meghatározására számos módszert dolgoztak ki, amelyeket legátfogóbban az ICAO DOC 9426 Air Traffic Services Planning Manualban foglalmaztak meg.

¹⁷ Air Traffic Control.

¹⁸ Communication, Navigation and Surveillance.

A katonai légiforgalmi légterek vonatkozásában a fent felsorolt változók, komplexitási tényezők, valamint módszerek csak egy részét képezik a kapacitásértékek meghatározásának, azokon túlmenően további kérdések tisztázására is szükség van, különös tekintettel az alábbiakra:

- Milyen a kiképzési repülések jellemző összetétele? Milyen a forgalom összetétele és intenzitása (például merev- és fogószárnyas légi járművek azonos időben történő mozgása, IFR-/VFR¹⁹-forgalom aránya stb.)?
- Milyen speciális feladatokat hajtanak végre az adott légtérben (például kényszerhelyzeti eljárások gyakorlása, ejtőernyős gyakorlatok, teherdobással összefüggő műveletek stb.)
- Milyen hazai és nemzetközi gyakorlatokat hajtanak végre az adott légtérben? Milyen a forgalom összetétele és intenzitása?
- Milyen jellegű harcászati/hadműveleti feladatokat látnak el az adott légtérből kiindulva?

A polgári repülőterekre jellemző komplexitási tényezők, valamint a katonai repülőterekre jellemző fenti speciális műveleti tényezők összege adhatja meg azt a szükséges adatmennyiséget, amely felhasználható valamely számítási modellben az értékek meghatározásához. Amennyiben a komplexitási tényezők által szolgáltatott adatok segítségével sikerül meghatározni a katonai légiforgalmi légterek kapacitását, úgy a kapott értéket nem szükséges statikus adatként kezelni. Ez azért lényeges, mert a repülési feladatok során olyan várt vagy váratlan események következhetnek be (például CNS-rendszer meghibásodása, zivatartevékenység, ATCO létszámhiány stb.), amelyek magukkal vonják a kapacitásértékek csökkentését is, amelyre külön eljárásrendet kell kidolgozni (például zivatartevékenység = irányítói körzet kapacitásának csökkentése –20%-kal).

A légiforgalmi légterek kapacitásértékeinek meghatározására már az 1980-as években történtek lépések annak érdekében, hogy megtalálják azt a mindenki számára (légtérfelhasználók, ANSP-k) elfogadható forgalmi szintet, amely egyrésztől nem okoz túlterhelést, másrésztől pedig nem generál fölösleges késést. A kapacitás mérése során felismerték, hogy egy adott légtér kapacitásának meghatározásakor minden esetben figyelembe kell venni az ott légiforgalmi szolgáltatást biztosító ATCO-k munkaterhelését is, amelynek meghatározására a polgári ANSP-k rendelkeznek számítási modellekkel [4]. A Magyar Honvédség ATS-egységeire a *Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program*nak köszönhetően növekvő katonai légijármű-szám, és az ebből adódó forgalmi mutatók miatt arányosan nagyobb munkateher nehezedik, ennek mérésére azonban jelenleg nem áll rendelkezésre olyan – mind a három katonai repülőtéren alkalmazott – objektív mérőszám, amely figyelembe venné a forgalmi sajátosságokat.

3.2. Az ATFM-eljárások fejlesztésének lehetőségei

Ahhoz, hogy megfelelő módon tudjon funkcionálni a katonai ATFM, és ennek megfelelően hatékonyan tudja támogatni a Magyar Honvédség repülési feladatait, új munkatechnológiai eljárások kidolgozása javasolt, amelyek az alábbiaknak megfelelően összegezhetők:

- katonai légiforgalmi légterek kapacitásértékeinek meghatározása (MCTR,²⁰ MTMA),²¹
- ATCO-pozícióban eltölthető idő meghatározása;

¹⁹ Visual Flight Rules.

²⁰ Military Aerodrome Control Zone.

²¹ Military Terminal Control Area.

- csökkentett kapacitásértékek meghatározása (például irányítói létszám, navigációs eszközök meghibásodása, speciális forgalmi igény stb.);
- együttműködésen alapuló adatcsere alkalmazása a repülőtérén települő, a repüléseket kiszolgáló és vezető állomány között;
- döntéstámogató eszköz fejlesztése az áramlásszervezési feladatok ellátására.

A katonai légiforgalmi légterek kapacitásának meghatározása többek között történhet szimulátoron, légiforgalmi komplexitást elemző szoftveren, a végrehajtott taktikai napok utólagos forgalmi elemzésével, illetve ezek ötvözetével, figyelembe véve az ATCO-k munkaterhelését. Lényeges szempont, hogy az így kapott kapacitásértékek felülvizsgálhatók/módosíthatók legyenek, figyelemmel arra, hogy a katonai légiforgalmi légterek szerkezete sem statikus, azokat bizonyos időközönként a Nemzeti Légtér Koordinációs Munkacsoport javaslatára megváltoztatják, így a korábban kapott kapacitásértékek is változhatnak.

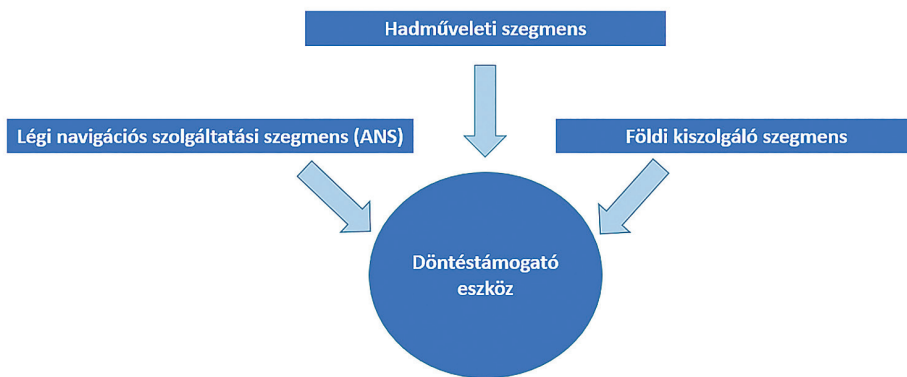
Az ATC-rendszerek működőképessége sok tényezőn múlik, ilyen az ATCO-k munkaterhelése is. Ennek megfelelően az ATCO-k pozícióban eltöltött idejének, illetve magának az igénybevételi időnek a meghatározása szintén kulcsfontosságú, amely során – egyfajta lehetséges megoldásként – fel kell tární, illetve összegezni kell a katonai repülőterekre jellemző forgalom komplexitását, külön kell választani az irányítással és a koordinációval eltöltött időt, majd szimulátoron, különböző intenzitású forgalom szimulálásával definiálni kell az igénybevételi időt.

A katonai légiforgalmi légterek kapacitásértékének meghatározását követően szükséges megvizsgálni a különböző légiforgalmi komplexitási tényezőket, illetve azok jellemző hatását az operatív működésre. A számszerűsített befolyásoló tényezők beazonosítását követően javasolt azokat egyenként vagy csoportba foglalva, százalékos arányban jellemezni a légterek kapacitásértékére gyakorolt negatív hatásuk szempontjából (például forgószárnyas és merevszárnyas légi járművek kiképzési repülése egy időben = komplex forgalom = több rádiólevezetés = kapacitás csökkentése 20%-kal). A polgári légi közlekedésben alkalmazott kapacitáscsökkentéssel összefüggő eljárások és jellemzők alapvetően jól alkalmazhatók a katonai ATFM-nél is, tekintettel arra, hogy a befolyásoló tényezők többsége azonos szituációkból kerül ki (időjárás körülmények változása, műszaki meghibásodás, váratlan forgalmi helyzet, irányítói létszáhiány stb.). Ezen túlmenően azonban figyelembe kell venni a katonai légi közlekedésben tetten érhető egyéb befolyásoló tényezőket is, amelyek a műveleti repülések jellegéből, komplexitásából adódnak, így a közzétett kapacitásértékek csökkentésével összefüggő jövőbeni lehetséges okok várhatóan szélesebb körben fognak mozogni.

A repülési feladatokat megelőzi számos olyan tervezési-szervezési fázis, amely feltétlenül szükséges az operatív feladatok végrehajtáshoz. Meghatározzák a végrehajtandó feladatokat, a feladatban részt vevő légi járműveket a hozzá tartozó személyzettel, továbbá a légiteret, ahol a feladatokat végrehajtják. A légi jármű a felkészítéstől kezdve az állóhelyfoglaltságig, légtérigényekig, repülési tervekkel kapcsolatos teendőkig, valamint a kiszolgálás időben történő végrehajtásáig számos olyan folyamat megtalálható, amely nélkül az adott feladat végrehajtása nem lenne lehetséges. Ennek megfelelően az említett feladatok ellátásáért felelős szolgálatok közötti megfelelő információáramlás és kommunikáció nélkülözhetetlen, az általuk kezelt és a működésük során keletkezett – a repülési műveleteket befolyásoló – adatok megosztását és frissítését pedig új alapokra javasolt helyezni. Jelenleg az információáramlás és -kezelés nem képezi részét egy egységes adatkezelő rendszernek, amelynek köszönhetően nem továbbítják azonnal egy közös felületre az információt. Az említett okok miatt kiemelt

fontosságú, hogy egy egységes, együttműködésen alapuló döntéstámogató és a katonai ATFM-et elősegítő rendszert hozzanak létre, amelynek adatbázisát, továbbá a forgalmat befolyásoló változókat – megfelelő jogosultság esetén – a repülőtérén települő szolgálatok valós időben képesek legyenek megváltoztatni, ezáltal elősegítve a forgalom hatékony, folyamatos és biztonságos áramlását.

Az ATFM egyik alapja a megfelelő adatcsere, illetve az adatokat megjeleníteni képes, az ATFM-et közvetlenül támogató alkalmazás. Amennyiben lépésről lépésre végighaladunk a felsorolt – javaslatként megfogalmazott – munkatechnológiai eljárásokon, úgy kirajzolódik a katonai ATFM-et támogató adatok forrása és összetétele, amelyeket az alábbi (4.) ábrán összegeztem.



4. ábra

A katonai döntéstámogató eszköz adatforrásai [a szerző szerkesztése]

A javasolt döntéstámogató eszköz – hasonlóan az EUROCONTROL CHMI-alkalmazáshoz – képes repülési terv és radaradatok alapján légiforgalmi helyzetképet felvázolni, továbbá a katonai légiforgalmi légterek kapacitásértékeinek megjelenítésével javaslatot tenni korlátozó intézkedések meghozatalára. Ezen túlmenően az ábrán látható szegmensek az alábbi adatokat továbbítanak megjelenítésre az eszköz számára:

1. Légi navigációs szolgáltatási szegmens (ANS):
 - légtérkapacitási adatok;
 - ATCO-kapacitási adatok;
 - CNS üzemképességi adatok;
 - repülési terv és radaradat-feldolgozás;
 - meteorológiai adatok.
2. Hadműveleti szegmens:
 - repülési igények;
 - harcérték.
3. Földi kiszolgáló szegmens:
 - töltés, jégtelenítés, repülőtér-karbantartás, egyéb kiszolgáló feladatok.

A döntéstámogató eszköz által kezelt adatokat egy közös platformon, csak az adott szolgálati egységek számára releváns információkkal jelenítenének meg. Az eszköz számára továbbított

adatok közül a repülési terv és radaradatok feldolgozása, majd megjelenítése okozza a legkomplexebb feladatot, tekintettel arra, hogy azokat külső forrásból biztosítanák. Ennek megfelelően érdemes megfontolni az EUROCONTROL CHMI-alkalmazás telepítését a katonai ATS-egységeknél, amely biztosítaná egyrészt a repülőtérrel induló és érkező – az ATFM alá eső – forgalom megjelenítését, másrészt pedig támogatná a résidő-koordinációval összefüggő feladatokat, amelyet jelenleg a HC Zrt. FMP egysége végez.

4. Következtetések

Az ATFM jelenlegi katonai alkalmazásával kapcsolatban elmondható, hogy az EUROCONTROL ATFCM fázisai alapvetően megvalósulnak, ahogy a légi forgalom előrejelzése is, azonban mindezeket nem támogatja megfelelő forgalmi előrejelzési rendszer, amelynek hiánya leginkább az előtaktikai és taktikai fázisokban okozhat nehézséget a légitforgalmi szakállomány-nak. A *Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program*nak köszönhetően a katonai légi forgalom folyamatosan növekszik hazánkban, a légi járművek repülési feladatainak jelentős hányada az ATFM szabályai alá esik, továbbá a repülőtéri műveletek is szignifikánsan emelkedtek és emelkedni fognak az új típusok megjelenésével. Ennek megfelelően szükséges megfontolni új ATFM-eljárások bevezetését, illetve egy erre a célra kifejlesztett döntéstámogató eszköz kifejlesztését a forgalom hatékony szervezésére. A Magyar Honvédség repülőtereire javasolt új ATFM-eljárások megvalósításával a légitforgalmi szakállomány számára várhatóan egyenletesebbé válik a munkaterhelés, a forgalmi igények hatékonyabban lesznek kezelhetők, valamint növekedni fog a tervezés hatékonysága is.

Felhasznált irodalom

- [1] Eurocontrol, *ATFCM User Manual*. 2020. június 23. Online: [eurocontrol-atfcm-user-manual-22052020.pdf](https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-06/eurocontrol-atfcm-user-manual-22052020.pdf)
- [2] Eurocontrol, *ATFCM Operations Manual*. 2021. január 18. Online: www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-01/eurocontrol-atfcm-operations-manual-24-1-18012021.pdf
- [3] ICAO, *DOC 4444 Air Traffic Management – Procedures for Air Navigation Services (PANS-ATM)*. 2016. Online: <https://ops.group/blog/wp-content/uploads/2017/03/ICAO-Doc4444-Pans-Atm-16thEdition-2016-OPSGROUP.pdf>
- [4] ICAO, *DOC 9426 Air Traffic Services Planning Manual*. 1984. Online: www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/Global%20ATFM%20Manual%20Coordination%20Team/1st%20Meeting%20at%20ATC%20Global%202012%20and%20EUROCONTROL%20CFMU/ICAO%20Doc%209426_cons_en.pdf
- [5] 57/2016. (XII. 22.) NFM rendelet a légitforgalmi szolgálatok ellátásának és eljárásainak szabályairól
- [6] 185/2016. MH ÖHP PK intézkedés a honvédelmi célú repülések és az ezzel összefüggő tevékenységek irányelveiről, a működési feltételekről és követelményekről
- [7] Eurocontrol, *Covid 19 Impact on European Aviation*. 2021. április 8. Online: www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-04/covid19-eurocontrol-comprehensive-air-traffic-assessment-08042021.pdf

- [8] ICAO, *World Aviation and the World Economy*. (é. n.) Online: www.icao.int/sustainability/Pages/Facts-Figures_WorldEconomyData.aspx
- [9] ICAO, *Air Traffic Flow Management (ATFM) / Collaborative Decision Making (CDM)*. (é. n.) Online: www.icao.int/APAC/APAC-RSO/Pages/ATFM-CDM.aspx
- [10] ICAO DOC 4444 nyomán a szerző saját szerkesztése

Introduction of Air Traffic Flow Management Procedures at the Aerodromes of the Hungarian Defence Forces

Military air traffic is constantly growing in our country because of the Zrínyi 2026 Defence and Military Development Programme. The Hungarian Defence Forces operates significant air traffic at regional level with the new and the existing aircraft types. In parallel with the development of the Air Force, the need to develop the military air traffic management system in order to respond to the challenges of the increasing traffic demand has been recognised. The increasing training and transport flights, the domestic and international exercises that take place in parallel, and the new additional aircraft types in the future will also generate more traffic demand and flow management procedures in the Air Force. The aim of this study is to present the general procedures, phases and technological tools of air traffic flow management, to present the basic flow management procedures in the Hungarian Defence Forces, and to highlight the possible development opportunities.

Keywords: *air traffic flow management, air traffic, air traffic services, decision support tool, air traffic controller, air traffic regulation, capacity*

Paulov Attila, MA
osztályvezető
HM Állami Légügyi Főosztály
Légiforgalmi Felügyeleti Osztály
paulov.attila@hm.gov.hu
orcid.org/0000-0002-8831-4527

Attila Paulov, MA
Head of Division
MoD State Aviation Department
ATM Supervisory Division
paulov.attila@hm.gov.hu
orcid.org/0000-0002-8831-4527



Sándor Zsolt, Pusztai Máté

Pilóta nélküli légijármű-rendszerek tanúsítása – avagy a termékbiztonságtól a típusalkalmasságig

A 2019-ben elfogadott pilóta nélküli légi járművekre vonatkozó specifikus EU-s jogszabályok megjelenésének hatására jelentős változások várhatók ezen eszközök piacán. A jogszabályok a gyártástól egészen a felhasználásig részletesen szabályozzák a tevékenységek elvégzésének módját az eszközökkel kapcsolatosan. A megfelelőségértékelő szervezetek és a tanúsító szervezetek szerepe jelentősen megnövekszik az új EU-s és nemzeti szabályok révén, és fokozott szerepet kap a termékbiztonság és a típusalkalmasság. Előbbiből alakult ki a termékbiztonsági lánc, amely két fő részből áll: a megfelelőségértékelés és a piacfelügyelet. Jelen cikkben mind a két részt bemutatják a szerzők, és ismertetik a különböző ellenőrzési megközelítéseket is az egyes szegmensekhez kapcsolódóan. A téma tárgyalásánál figyelembe kell venni, hogy a pilóta nélküli légi járművek olyan eszközök, amelyek felhasználása fokozott biztonsági és védelmi kockázatot hordoz, amelyek kezelését a tervezéstől a gyártáson át egészen a végső felhasználásig a termék teljes életútja során meg kell valósítani.

Kulcsszavak: termékbiztonság, tanúsítás, osztályazonosító, piacfelügyelet, kockázatelemzés, megfelelőségértékelés

1. Bevezetés

Az Európai Unió Működéséről szóló Szerződés (EUMSZ) értelmében, az Európai Unióban a tagállamok és az uniós intézmények megtesznek minden szükséges intézkedést egy olyan belső piac létrehozására, amelyben az országhatárok semmiféle akadályt nem képezhetnek a termékek – azaz az áruk – szabad áramlásában [1]. Ehhez nélkülözhetetlen azonban, hogy a korlátozások nélkül mozgó termékek biztonságosak legyenek.

A műszaki fejlődés hatására könnyen beszerezhető, de rendkívül bonyolult és a rendeltetésszerű használat mellett is kockázatot jelentő termékek jelentek meg a hétköznapi életünkben. Az átlagembertől – akit az Európai Unió jogi szaknyelve fogyasztónak nevezett el –, már jogilag sem elvárható, hogy megértse az ilyen termékek adott esetben bonyolult műszaki hátterét: a jog megalégszik azzal, ha vállalja a rendeltetésszerű használat módjainak és az ezzel járó kockázatok megismerésének kötelezettségét (értse a használati útmutató elolvasását), és nem lépi túl a rendeltetésszerű használat kereteit. Minden más, a termékkel kapcsolatos feladat pedig a gyártóra, illetve az értékesítési láncban részt vevő egyéb gazdasági

szereplőkre (például importőr vagy forgalmazó) hárul. Ez minden iparág termékére igaz, így a jelen cikkünk témáját jelentő pilóta nélküli légijármű-rendszerekre (UAS vagy hétköznapi kifejezést használva drón) is.

Ezek a körülmények hívták életre a termékbiztonsági szabályokat, amelyek az (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelet (Felhatalmazáson Alapuló Rendelet) révén az UAS-ok vonatkozásában is úgynevezett ágazatspecifikus termékbiztonsági rendelkezéseket hoztak létre [2].

Annak érdekében, hogy egy UAS-t gyártó ezt a nagy feladathalmazt valóban megfelelően lássa el, és a termékbiztonság szintje az olyan, egyébként az (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet (Végrehajtási Rendelet) szerinti nyílt műveletekre használt UAS-ok esetében is megfelelő legyen, az ellátási láncsal párhuzamosan egy termékbiztonsági láncot¹ – a hozzá kapcsolódó szerepkörökkel és hatáskörökkel – is létesített az uniós jogalkotó [3], [4]. Utóbbi részei az ellátási lánc megfelelő fázisaiban elérhetők, illetve egyes jól meghatározott pontokon be tudnak avatkozni. A termékbiztonsági lánc két legfontosabb szereplője a bejelentett megfelelőségértékelő szervezet (*NOTified BODy*, NOBO), valamint a piacfelügyeleti hatóság.

A Végrehajtási Rendelet szerinti speciális és engedélyköteles műveleti kategóriákban azonban már túllép az uniós jogalkotó a termékbiztonsági logikán, és lépésről lépésre közelít a szabályozási gondolkodásmódban és struktúrában egyaránt a hagyományos légi járművek tanúsításának szabályozásához [3].

Cikkünkben ennek a szabályozási ívnek a bemutatására és az egyes műveleti kategóriák szabályozási megoldásainak bemutatására teszünk kísérletet.

2. A megfelelőségértékelés – a termékbiztonsági lánc első pillére

A légi közlekedés veszélyes üzem, ahol a biztonság kiemelt szerepet kap. A biztonságot különböző módokon lehet szavatolni: ilyen az iparágban tevékenykedő szakemberek képzése, általánosan elfogadott irányelvek/szabványok/szabályozó elemek használata, a berendezések és eszközök ellenőrzése azok teljes életciklusa során, a tervezéstől a leszerelésig.

A Végrehajtási Rendelet szerinti nyílt műveletre szánt UAS-ok esetében a biztonságot a megfelelőségértékelés révén igyekeznek szavatolni a jogalkotó. Megfelelőségértékelés a termékbiztonság első lépése, amely a tervezésre és a gyártás megszervezésére, azaz a gyártó tevékenységének ellenőrzésére koncentrál, ezzel is védve a fogyasztókat számos kockázattól.

A termékbiztonsági és piacfelügyeleti megközelítés alkalmazása azt sugallja, hogy az osztályazonosító címkével és CE-jelöléssel ellátott UAS-okat (illetve magukat a drónokat) az uniós rendelet elsődlegesen fogyasztási cikknek tekinti. Összefoglalva tehát, ezek olyan termékek, amelyek légi járművek is, azaz repülni képes fogyasztási cikkek.

¹ A termékbiztonsági lánc mint fogalom nem jelenik meg a szakirodalomban és a jogszabályokban. Az ellátási lánc (*supply chain*) többi résztvevője (gyártó, importőr, forgalmazó) ugyan rendelkezik a termékbiztonsághoz kapcsolódó kötelezettségekkel, azonban szerepüket tekintve nem ez a meghatározó. Ezzel szemben a termékbiztonsági lánc két pillére (megfelelőségértékelés és piacfelügyelet) szinte kizárólag a termékbiztonsággal foglalkozik, és szigorú előírásoknak való megfeleltetésüknek köszönhetően teljesen függetlenek az ellátási lánc minden egyéb szereplőjétől. A markánsan elkülönülő feladat- és hatáskör, valamint az ellátási lánc résztvevőitől való jogi, szervezeti és gazdasági függetlenség szemléltetése érdekében alkották tehát meg a termékbiztonsági lánc fogalmat. Az ilyen elhatárolás alapjául szolgál az is, hogy e két pillér az ellátási láncnak tulajdonképpen a külső auditálását végzi, a benne lévő termék életciklusának más-más fázisaiban.

Nagyon fontos azt rögzíteni, hogy ez nem azt jelenti, hogy repülésbiztonsági szempontból bármi különbség lenne az ilyen, a Végrehajtási Rendelet szerinti nyílt kategóriában vagy sztenderd forgatókönyv (STS) alapján üzemeltetett drónok és a szigorúbb speciális vagy engedélyköteles műveleti kategóriákban repülő pilóta nélküli légi járművek között.² Az alacsonyabb kockázatokkal rendelkező műveleti kategóriában (nyílt kategória és STS) éppen a termékbiztonsági–fogyasztóvédelmi–piacfelügyeleti szabályokon keresztül ér el megfelelő repülésbiztonsági szintet a jogalkotás.

A megfelelőségértékelés mint tanúsítási eljárás mögött ugyanakkor egy másik szempont is meghúzódik: egy erősen korlátozott műveleti környezetbe szánt és legfeljebb 25 kg maximális felszálló tömegű (MTOM) UAS esetében aránytalanul nagy műszaki és anyagi terhet jelentene egy, a hagyományos légi járműveknél előírt tanúsítási kötelezettség bevezetése, és számos gyártó és vállalkozás piacra lépését lehetetlenítené el, amely végső soron a rendkívüli innovációs potenciállal rendelkező iparág visszafejlődéséhez vezetne.

Éppen ezért a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet és az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (*European Aviation Safety Agency*, EASA) egy olyan rendszert hozott létre, amelyben a 25 kg, vagy az alatti MTOM-mel rendelkező UAS-okat – amennyiben a Végrehajtási Rendelet szerinti nyílt műveleti kategóriában, vagy STS-ben történő üzemeltetésre szánja a gyártó – termékként, a légi közlekedésben való megjelenésük jelentette kockázatot pedig új UAS-specifikus termékbiztonsági szabályok bevezetésével kezeli.

Ennek első eleme a megfelelőségértékelés. A megfelelőségértékelés (*conformity assessment*) mint szabályozási technika a 765/2008/EK rendelet tanúsága szerint is régóta bevett az uniós jogrendszerben, amit kiegészít a 768/2008/EK határozat, amely úgynevezett megfelelőségértékelési modulokat határoz meg. Ráadásul a drónok tekintetében eddig is kötelező volt a megfelelőségértékelés, azonban a Végrehajtási Rendelet hatálybalépését megelőzően merőben más szabványok és jogszabályok alapján [4], [5].

A modulok általános érvényűek és nem ágazatspecifikusak. Ugyanakkor az Európai Unió minden esetben, amikor egy új jogterületen kíván a megfelelőségértékelés mint termékbiztonsági szabályozási eszköz bevezetésével élni, az ágazatspecifikus jogszabályban – ami jelen esetben a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet – dönti el, hogy mely megfelelőségértékelési modulokat teszi „elérhetővé” az adott ágazatban. A Felhatalmazáson Alapuló Rendelet újdonsága tehát elsősorban az, hogy egységes és kifejezetten a drónokra szabott megfelelőségértékelési eljárási szabályokat hozott létre.

Ezeket a modulokat a jelen cikk témájára tekintettel aszerint különböztethetjük meg, hogy szükséges-e bejelentett szervezet igénybevétele, vagy a gyártó – viselve persze minden felelősséget – önállóan folytathatja le az eljárást, és annak szabályszerűségét később a piacfelügyeleti hatóság ellenőrzi.

A megfelelőségértékelés úgynevezett megfelelőségértékelési modulok alapján végezhető, amelyekből az uniós jogalkotó az egyes termékkörök esetében más és más modulokat tesz elérhetővé az ellátási lánc résztvevői számára. A drónok esetében elérhető megfelelőségértékelési modulokat az 1. táblázat mutatja be.

² Lásd: www.youtube.com/watch?v=sq7wozIzXBM

1. táblázat

Pilóta nélküli légitárgyak megfelelőségértékelésére alkalmazható modulok [a szerzők szerkesztése]

Megfelelőségértékelési modul	Megfelelőségértékelési modul tartalma	UA-osztály	Kell hozzá bejelentett szervezet (NOBO)?
A	Belső gyártásellenőrzés	C0, C4–C6	nem
B, C	EU-típusvizsgálat, típusmegfelelőség belső gyártásellenőrzés alapján	C0–C6	igen (B modulhoz)
H	Teljes körű minőségbiztosításon alapuló megfelelőség	C0–C6	igen

A táblázatból is látható, hogy a C1–C3 UA-osztályok esetében az A modul nem választható opció a gyártó számára, azaz minden esetben szükséges NOBO igénybevétele.

2.1. Megfelelőségértékelés közösségi harmonizációs szabványok révén

A drónok esetében az úgynevezett A modul, azaz a belső gyártásellenőrzés áll a gyártók rendelkezésére, hogy a megfelelőségértékelést önállóan lefolytathassák. Ugyanakkor ezt a modult kizárólag a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet mellékletében található C0 és C4–C6 UA-osztályú drónok esetében alkalmazzák. Helyesebben: csak lehetne alkalmazni, ugyanis az új közösségi harmonizációs szabványok, amelyek szükségesek a megfelelőségértékelés lefolytatásához, még nem készültek el. Ezekből áll majd össze az EN 4709-es szabványcsoport, amelyek elemeit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat

Az EN 4709 szabványcsoport elemei [a szerzők szerkesztése]

EN 4709-1	A nyílt kategóriában üzemeltetni kívánt pilóta nélküli légitárgyak-rendszerek tanúsításával kapcsolatos harmonizált szabvány
EN 4709-2	A pilóta nélküli légitárgyak-rendszerek közvetlen távoli azonosítására vonatkozó harmonizált szabvány
EN 4709-3	A pilóta nélküli légitárgyak-rendszerek földrajzi helyzetadatosságára (geo awareness) vonatkozó harmonizált szabvány
EN 4709-4	A pilóta nélküli légitárgyak fényjelzéseire vonatkozó harmonizált szabvány

A szabványok elnevezéséből is látható, hogy a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet új műszaki követelményeket vezetett be, így az új típusoknak, amelyeket az unióban a nyílt kategóriába tartozó műveletekre kívánnak értékesíteni, forgalomba hozataluk előtt ezeknek az új követelményeknek is meg kell felelniük.

Az új közösségi harmonizációs szabványok azért fontosak, mert ezek alkalmazása nagyban gyorsítja a megfelelőségértékelési eljárást és adott esetben a piacfelügyeleti ellenőrzést is. A Felhatalmazáson Alapuló Rendelet ugyanis a megfelelőség vélelmében részesíti ezeket a szabványokat, ami azt jelenti, hogy a megfelelőségértékelési eljárásban – ha a gyártó a szabványra hivatkozik – nem kell vizsgálni, hogy megfelelő műszaki eljárást választott-e a megfelelőség elérésére, mindössze az eredményt, azaz a jogszabály (például uniós rendelet) által megkívánt műszaki paraméter teljesítését kell igazolni, illetve ellenőrizni.

2.2. Megfelelőségértékelés NOBO közreműködésével

A Felhatalmazáson Alapuló Rendelet a C1–C3 osztályú drónok esetében kizárólag a B + C modulokból álló megfelelőségértékelési eljárást teszi lehetővé, aminek B modulját, az EU-típusvizsgálatot egy NOBO közreműködésével kell lefolytatni. Ennek a modulnak a keretében a NOBO, ha a műszaki dokumentáció ellenőrzését és a már legyártott mintadarabok tesztelését követően mindent rendben talált, úgynevezett EU-típusvizsgálati tanúsítványt állít ki, amelynek birtokában a gyártó a C modul szerinti gyártásellenőrzést és aztán a forgalomba hozatalt megkezdheti.

A NOBO-knak az Európai Bizottság adja meg a bejelentett szervezeti státuszt, miután a tagállami bejelentő hatóság (Magyarországon ez a Légiközlekedési Hatóság) átadja neki a szükséges dokumentációt, és nyilvántartja ezeket a szervezeteket. A NOBO által kiadott EU-típusvizsgálati tanúsítvány az egész Európai Unióban biztosítja a forgalmazás lehetőségét.

A NOBO-k igénybevétele történhet az úgynevezett H modul alkalmazása esetén is. Ebben a modulban egy teljes körű minőségellenőrzést végez a NOBO, és nem az egyes terméket, hanem a gyártást vizsgálja. Éppen ezért ez nem egyszeri, hanem rendszeres vizsgálat a gyártás helyszínén.

E sorok írásáig (2021. május) egyetlen tagállamból sem került fel megfelelőségértékelő szervezet az Európai Bizottság NANDO listájára, ahol e szervezetek mindenki számára megtalálhatók [6]. Tekintettel arra, hogy a bejelentési kérelmet minden tagállamban akkreditációnak kell megelőznie, és a bejelentés és az Európai Bizottság előtti eljárás is legalább két hónapot vesz igénybe, ha egyetlen tagállam hatósága sem kérdőjelezi meg a bejelentést, így a NOBO-k megjelenésére is várni kell.

A C5 és C6 osztályú drónok esetében pedig szintén fontos körülmény, hogy az STS-re vonatkozó műveleti szabályok is csak 2021. december 2. napján lépnek hatályba, így addig biztosan nem lehet ilyen műveleteket végezni, még akkor sem, ha már létezne a kereskedelmi forgalomban elérhető C5 vagy C6 osztályazonosítóval rendelkező UAS.

A helyzet tarthatatlanságát – miszerint nincs még osztályazonosítóval ellátott UAS – maga az EASA is felismerte, és erre való tekintettel kialakította az előzetesen meghatározott kockázatértékelés (*pre-defined risk assessment*, PDRA) keretében a PDRA-S01-t és PDRA-S02-t, amelyek az osztályazonosító címkével ellátott drón alkalmazásának követelményétől eltekintve egy az egyben megfeleltethetők az STS-01 és STS-02 szerinti műveleteknek. Így bár az ilyen jellegű műveletekhez is kell műveleti engedélyt beszerezni a hatóságtól, de a kockázatértékelés alapjait az EASA előre meghatározta, ezzel könnyítve a műveleti engedély megszerzését.

2.3. Saját építésű pilóta nélküli légitársaságok megfelelőségértékelése

A Végrehajtási Rendelet megalkotása során azt a körülményt is számításba vette az Európai Bizottság, hogy számos olyan eszköz repül az európai égbolton, amelyet annak üzemben tartója egyedileg tervezett és épített. Ami azt is jelenti, hogy az így elkészült légi jármű műszaki alkalmasságát és képességeit, egyszerűen megfelelőségét egyetlen független szervezet sem ellenőrizte. Ennek megfelelően a saját építésű UAS-nak nem gyártója, hanem összeszerelője van, amiből következik, hogy az építettest nem terhelik olyan kötelezettségek, mint egy gyártót.

Ennek az engedménynek azonban megvan az ára: több korlátozást is bevezetett a Végrehajtási Rendelet ezeknek a drónoknak a nyílt műveleti kategóriában történő alkalmazásához. Ezek az alábbiak:

- saját építésű UAS-ok kizárólag az A1 (MTOM < 250 g) vagy az A3 (MTOM < 25 kg) műveleti kategóriákban üzemeltethetők, és
- kizárólag saját használatra, azaz kereskedelmi forgalomba nem hozhatók.

Különösen az utóbbi rendelkezés érdekes, amely magából a saját építésű UAS fogalmából következik, és ami azt jelenti, hogy a saját építésű UAS nem forgalomképes, azaz nem lehet értékesíteni, hiszen ellenkező esetben a Végrehajtási Rendeletben szereplő definíció „saját használatra” fordulata vesztene értelmét.

Ezek a korlátozások nagymértékben behatárolják a saját építésű eszközök felhasználási lehetőségeit, viszont még így is biztosított marad a műveletek elvégzése ezekkel az eszközökkel.

A saját építésű UAS-t tehát a fenti korlátozások kötik a nyílt kategóriában. A speciális műveleti kategóriában történő üzemeltetésüknek nincs jogi akadálya. Utóbbi esetben a jelen cikk 4. fejezetében foglaltak szerint kell eljárni, azaz a műveleti engedélyhez kapcsolódó kockázatcsökkentő megoldások összessége, illetve az úgynevezett könnyű UAS-üzembentartói tanúsítvány (*Light UAS operator's Certificate*, LUC) fogalmazza meg a teljesítendő elvárásokat a drónnal szemben. Egyedileg épített eszköz lévén, előreláthatólag számos tesztet és tanúsítási kötelezettséget fognak előírni a tagállami hatóságok, mielőtt kiadnák a műveleti engedélyt vagy LUC-ot.

3. Piacfelügyeleti hatóság – a termékbiztonsági lánc második pillére

A termékbiztonsági lánc második pilléréként a piacfelügyelet egy nagyobb egység, amely – hasonlóan a megfelelőségértékeléshez (lásd különösen a B modulnál) – egy alaki és tartalmi ellenőrzést jelent. Sőt az Európai Unió szakirodalmában a piacfelügyeleti ellenőrzésre mint megfelelésértékelésre hivatkoznak [7]. Az angol szakirodalomban meghonosodott szóhasználat (*conformity assessment*, megfelelőségértékelés vs. *compliance assessment*, megfelelésértékelés) a magyarnál jobban láttatja a két fogalom különbözőségét, azonban a nyelvektől függetlenül látható, hogy mindkét pillér egy értékelést foglal magában, ami megint csak kifejezi a két pillér szoros kapcsolatát.

Figyelemmel arra, hogy a termékbiztonsági lánc első eleme, a jelen cikk 2. pontjában ismertetett megfelelőségértékelés egyelőre nem képes betölteni a funkcióját, az új szabványok és NOBO-k megjelenéséig még inkább kiemelt szerep jut a piacfelügyeleti hatóságoknak.

Jóllehet a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet kizárólag a C0–C6 UA osztályba tartozó, azaz a megfelelőségértékelésen átesett drónok tekintetében rendelkezik hatáskörrel, ez nem jelenti azt, hogy az új drónok megjelenéséig ne lenne feladata a piacfelügyeleti hatóságnak.

A 2. pontban kifejtett helyzet ugyanis azt is jelenti, hogy jelenleg minden olyan drón, amely osztályazonosító címkével kerül a boltok polcaira, biztosan jogellenesen kapott ilyen címkét és alkalmas a fogyasztók megtévesztésére, hiszen arra enged következtetni, hogy az adott drón az osztályazonosító címke szerinti műveletekre jogszerűen használható.

Ez azonban nem így van, hiszen a Végrehajtási Rendelet korlátozza az osztályazonosító nélküli drónok használatát a nyílt kategóriában, az A2 műveleti alkategóriát lényegében kizárva a lehetőségek közül (jelentős korlátozásokkal lehet csak ilyen műveleti alkategóriában repülést végrehajtani).³

Ezért a piacfelügyeleti hatóság már most is jogosult ellenőrzéseket végezni, nemcsak a gyártóknál, hanem az importőröknél és forgalmazóknál is. A szabálytalanságok esetén a piacfelügyeleti hatóság a magyar és uniós piacfelügyeleti jog teljes eszköztárát jogosult bevetni, amely nem pusztán a bírságolást, hanem az akár az egész Európai Unióra kiterjedő visszahívást is magában foglalja.

A piacfelügyelet a későbbiekben is fontos szerepet fog játszani, ugyanis a megfelelőség-értékelésen átesett drónok műszaki és a megfelelőségértékelési eljárásban keletkezett dokumentációját köteles megőrizni, és 10 évig a piacfelügyeleti hatóság kérésére azokat bemutatni.

További fontos előírás, hogy a C5–C6 UA osztályú drónok esetében a gyártónak már a forgalomba hozatal előtt értesítenie kell a piacfelügyeleti hatóságot az új típus megjelenéséről.

A piacfelügyeleti hatóság ráadásul az olyan drónok vizsgálata során, amelyek megfelelőségértékelését NOBO végezte, a NOBO-tól is jogosult minden, a megfelelőségértékelés során keletkezett iratot bekérni. Látható tehát ezekből a szabályokból is, hogy a NOBO-k és a piacfelügyeleti hatóság egy rendszer, a termékbiztonsági lánc összekapcsolódó elemeiként és nem önálló „szigetüzem”-ben működnek, ami megalapozottá teszi a pillér hasonlat alkalmazását.

Némileg túlzó, de szemléletes példával élve: míg a megfelelőségértékelés egyfajta típusalkalmassági tanúsítást jelent, addig a piacfelügyelet a légi alkalmasság fenntartását hivatott ellenőrizni az egyes próbavásárlások és laborvizsgálatok révén, amelyek – különösen az A modul szerint kizárólag a gyártó által értékelt C0 és C4–C6 UA osztályú drónok esetében – utólagos külső kontrollt biztosítanak a termékbiztonsági és ellátási lánc egy, a megfelelőségértékelésnél későbbi fázisában [8]. Ezeket az ellenőrzéseket kívánja az Európai Unió a későbbiekben intézményesített formában, úgynevezett uniós vizsgálóhelyek létrehozásával megerősíteni és a tagállami szint fölé emelni, ezáltal is az egységes belső piac megerősítését szolgálva.

4. A Végrehajtási Rendelet átmeneti rendelkezései

Ahogy azt a jelen cikk 2. fejezetében és 2.1. pontjában is írtuk, a megfelelőségértékelés szervezeti és jogszabályi (helyesebben szabványosítási) háttere nem áll rendelkezésre. Ennek kezelésére és a gyártóknak megfelelő felkészülési idő biztosítása érdekében a Végrehajtási Rendelet meghatározott bizonyos átmeneti szabályokat. Fontos rögzíteni, hogy ezek az átmeneti rendelkezések kizárólag a nyílt kategóriájú műveletekre vonatkoznak. Egy műveleti engedély, vagy LUC birtokában az UAS-üzembentartó e szabályoktól eltérően is használhatja a drónját.

A Végrehajtási Rendelet 22. cikke szerint 2022. december 31. napjáig továbbra is lehetőség van olyan nyílt kategóriába szánt UAS forgalomba helyezésére, amely nem felel meg

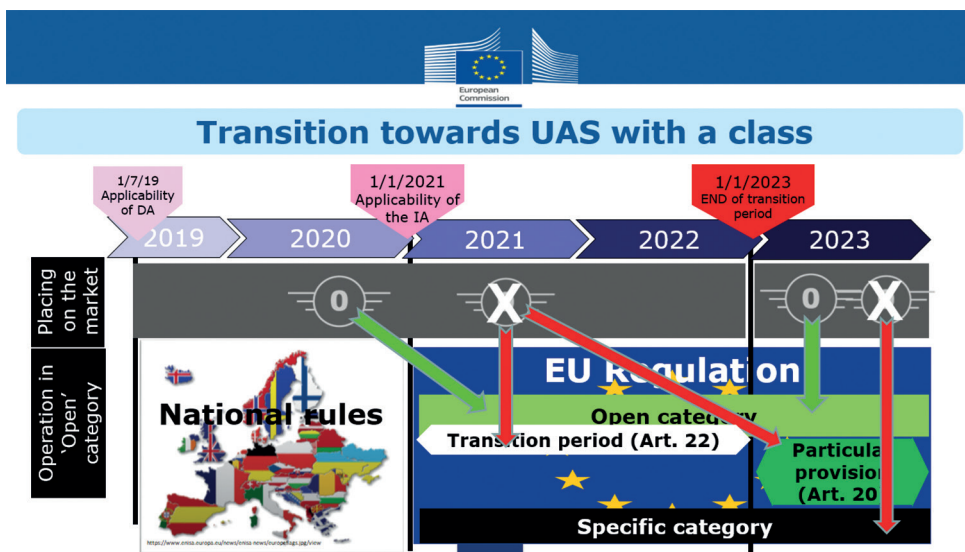
³ Végrehajtási Rendelet 20. és 22. cikk alapján. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ez a tilalom nem abszolút, műveleti engedély birtokában lehet végezni az A2 alkategóriának megfelelő műveletet osztályazonosító nélküli drónnal is.

a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet előírásainak – következésképp osztályazonosító címkével (*Class Identification Label, CIL*) sem rendelkezik.

A Végrehajtási Rendeletben foglaltak szerint az ilyen, nem konform UAS-okkal a nyílt kategóriában végezhető műveletek köre korlátozott. CIL nélkül az A1 alkategóriában kizárólag 500 g-nál kisebb MTOM-el rendelkező drónok reptethetők, feltéve, hogy a távpilóta az UAS. OPEN.020 szerinti vizsgát tett. Az 500 g-ot elérő, de 2 kg-nál kisebb maximális felszállótömegű, de CIL nélküli UAS az A2 műveleti alkategóriában csak úgy repülhet, ha legalább 50 m-es távolságot tart a külső személyektől, és a távpilóta már az UAS.OPEN.030 szerinti távpilóta-kompetenciatanúsítvánnyal rendelkezik. A 2 kg-ot elérő, de 25 kg-nál kisebb MTOM-mal rendelkező UAS-ok számára – CIL hiányában – kizárólag az A3 műveleti alkategória áll nyitva, de ebben az esetben is előírás, hogy a távpilóta UAS.OPEN.020 szerinti vizsgát tett.

A Végrehajtási Rendelet 20. cikke értelmében annak hatálybalépését követően is, 2022. december 31. napjáig forgalomba lehet hozni olyan nyílt kategóriába szánt drónokat, amelyek nem felelnek meg a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet minden előírásának, következésképp osztályazonosító címkével sem rendelkeznek. Ezzel párhuzamosan azonban az ilyen drónokkal a nyílt kategóriában végezhető műveletek is korlátozva vannak. Az A1 alkategória kizárólag 250 g-nál kisebb MTOM-mal rendelkező, újonnan forgalomba hozott drónok számára elérhető, míg az ennél nagyobb, de 25 kg-nál kisebb MTOM-mal rendelkező drónok kizárólag az A3 műveleti alkategóriában használhatók, ha nincs rajtuk osztályazonosító címke. Ettől eltérni kizárólag műveleti engedély vagy LUC birtokában lesz lehetősége az UAS üzemben tartójának.

Osztályazonosító nélküli drónt 2023. január 1. napjától továbbra is lehet majd új típusként forgalomba hozni, azonban üzemben tartására kizárólag a speciális műveleti kategóriában, azaz műveleti engedély vagy LUC birtokában lesz lehetőség. A Végrehajtási Rendelet 20. és 22. cikkében foglalt átmeneti rendelkezéseket az alábbi ábra szemlélteti.



1. ábra
CIL nélküli átmeneti időszak [9]

Ez azt is jelenti, hogy az ellátási lánc szereplői e dátumokat figyelembe véve kötelesek lesznek tájékoztatni a vásárlókat arról, hogy milyen műveleti korlátozások vonatkoznak rájuk, amelynek elvégzését a tagállamok piacfelügyeleti hatóságai a Felhatalmazáson Alapuló Rendelet 39. cikkére tekintettel fogják ellenőrizni. A helyzetet nehezíti, hogy a Végrehajtási Rendelet a forgalomba hozatalra⁴ vonatkozóan állapít meg ilyen korlátozást és nem a forgalmazást⁵ korlátozza, ami azt jelenti, hogy ha a forgalomba hozatal megtörténik a fenti határidőig, akkor a legyártott készlet kimerültségig lehet forgalmazni a terméket az EU-ban, anélkül, hogy kötelező lenne a műveleti engedély vagy LUC beszerzése az üzemeltetéshez.

Az EASA prognózisa szerint 2026-ig várhatóan maradnak osztályazonosító nélküli, de a nyílt kategóriába szánt drónok a boltok polcain és a webáruházak raktáraiban [10].

A gyártóknak azonban nem kell az alapoktól újratervezniük minden típust az új szabványoknak és előírásoknak való megfelelés érdekében. Ha van olyan típus, amely egy szoftverfrissítés (*upgrade*) vagy átalakítás (*retrofit*) révén megfeleltethető lesz az új szabványoknak, akkor az upgrade és retrofit lesz a megfelelőségértékelés alapja. Ugyanis – legyen bármilyen kismértékű a módosítás – az upgrade-en és/vagy retrofiten áteső drónok – jogilag új típusnak számítanak, ezért új sorozatszámokkal is el kell őket látni.

Az így a piacon megjelenő új típusok utólagos kontrolljában a piacfelügyeleti hatóságoknak lesz kiemelt szerepe, hiszen az upgrade – ellenőrzött – végrehajtását követően elnyert új jelöléseket – az EASA tervei szerint – az UAS-üzembentartó is elhelyezheti majd a drónon, követve természetesen a gyártói utasításokat [10]. Ezeknek az ellenőrzéseknek az adminisztratív háttérét nagyban segítheti az UAS-ok nyilvántartásának szélesebb körben történő kötelezővé tétele, amelynek révén nyomon követhető az UAS-ok sorsa. Jelenleg ilyen nyilvántartással szinte kizárólag⁶ Magyarország rendelkezik az Európai Unióban.

Nem világos ugyanakkor, hogy az európai jogalkotó miért tekinti kevésbé kockázatosnak az osztályazonosító címke nélküli drónok repülését az átmeneti időszakban, mint annak lejártát követően, amikor a most felállított távpilóta-vizsgáztatási rendszer megszilárdulásával már komolyabb jártasságra tehetnek szert a távpilóták, azaz pusztán az idő múlásából adódóan nem merül fel újabb kockázat. Különösen érdekes ez a kérdés az A2 műveleti kategória esetében, ahol az átmeneti korlátozások (a külső személyektől való távolság és MTOM tekintetében) pont a Felhatalmazáson Alapuló Rendeletnek való megfelelés és a CIL hiányából fakadó kockázatokat hivatottak ellensúlyozni, így a kockázati növekményeket a korlátozások révén elért nyereséggel a megfelelő szinten lehet tartani. Feltehetőleg az átmeneti rendelkezések és az átmeneti időszakot követő szigorítások célja, hogy a gyártókat a retrofit, illetve upgrade elvégzésére szorítsa –, illetve az UAS-üzembentartókat ösztönözze az új, konform típusok megvásárlására.

⁴ A forgalomba hozatal a Végrehajtási Rendelet szerint: a termék első alkalommal történő forgalmazása az uniós piacon.

⁵ A Végrehajtási Rendelet szerint forgalmazásnak minősül egy termék kereskedelmi tevékenység keretében történő rendelkezésre bocsátása az uniós piacon értékesítés, fogyasztás vagy használat céljára, akár ellenérték fejében, akár ingyenesen. Azaz a forgalmazás a forgalomba hozatalt követő mozzanat, amely gyakorlatban a boltok polcára történő kihelyezést jelenti.

⁶ Franciaországban is az uniós minimumnál szélesebb körű a nyilvántartás.

5. Pilóta nélküli légijármű-rendszerek minősítése a speciális műveleti kategóriában – kockázatértékelés és a „design verification report”

A nagyobb kockázatot jelentő műveletek már nem hajthatók végre a nyílt kategóriában, azokat minden esetben kockázatelemzésnek kell alávetni, amelyek eredménye alapján előálló kockázatcsökkentési intézkedések mellett hajtható végre az adott művelet. Ilyen intézkedések lehetnek stratégiai vagy taktikai eljárások, attól függően, hogy a művelet végrehajtásának kockázata milyen jellegű.

5.1. Kockázatértékelés

Amennyiben a tervezett művelet nem „nyílt” kategórián belül vagy sztenderd forgatókönyv szerinti működésben valósul meg, úgy az UAS-üzembentartónak műveleti engedélyt szükséges szerezni. A műveleti engedély megszerzésének feltétele, hogy részletes kockázatelemzést kell az UAS-üzembentartónak benyújtania az illetékes hatósághoz (kivéve, ha PDRA alapján valósítja meg a műveletet) [3], [11].

A kockázatelemzés során a műveleti környezet jellemzői alapján (felhasznált eszköz jellemzői, műveleti terület elhelyezkedése, műveleti terület feletti légtér tulajdonságai stb.) meghatározzák a speciális bizonyossági és integritási szintet (*Specific Assurance and Integrity Level*, SAIL). A SAIL-szintek I-től VI-ig terjednek, és összetett módon fejezik ki, hogy egy művelet milyen mértékű kockázatot hordoz. A SAIL-szintek kijelölik, hogy a művelethez kapcsolódóan a különböző operatív biztonsági célokat (*Operative Safety Objectives*, OSO) milyen szinten kell tudni szavatolni [12].

Az OSO azon védelmi gátak és kockázatcsökkentő intézkedések összessége, amelyek biztosítják az esetlegesen felmerülő veszélyek hatásainak csökkentését. Ezekből jelenleg összesen 24-et határoztak meg, amelyek a művelettel összefüggésben különböző területekre vonatoznak (UAS műszaki jellemzői, üzemben tartás, karbantartás, távpilóták kompetenciái, emberi tévedés kiszűrése, kedvezőtlen körülmények közötti üzemeltetés stb.), és rögzítik, hogy milyen kritériumok és/vagy követelmények tartoznak hozzá. A SAIL-szintek meghatározzák, hogy ezek kielégítését az adott művelet kockázati jellemzői alapján egy-egy művelet során alacsony, közepes vagy magas megalapozottsági szinten kell megvalósítani, illetve az is előfordulhat, hogy a kockázat alacsony volta miatt egy OSO teljesítése opcionális [13].

A megalapozottság a kockázatcsökkentő intézkedések jellemzője, amely

- a kockázatcsökkentő intézkedésekből adódó biztonsági nyereségből (a veszélyeztetésből származó kockázat és a maradék kockázat közötti különbség) – *integritási szintből*, és
- a biztonsági nyereség révén elért *bizonyossági szintből* például bizonyítási módszer tevődik össze.

Mind a két esetben alacsony, közepes és magas szintekről lehet beszélni, amelyek kombinációja adja ki a megalapozottság szintjét.

A megalapozottság szintje mindig az integritás vagy a bizonyosság szintjei közül az alacsonyabb szintjével azonos.

A bizonyosság szintje:

- alacsony: amennyiben a kérelmező *nyilatkozik* arról, hogy a megkívánt integritási szint biztosított vagy azt elérte;
- közepes: amennyiben a kérelmező *alátámasztó bizonyítékot nyújt be*, hogy a megkívánt integritási szint biztosított, azt elérte. Ezt jellemzően tesztelési eszközökkel vagy jártasság igazolásával bizonyítja;
- magas: az elért integritást egy *illetékes* harmadik fél elfogadhatónak találta.

A megfelelőségértékelő vagy -tanúsító szervezeteknek kiemelt jelentősége van azokban az esetekben, amikor a megalapozottsághoz kapcsolódó bizonyosság magas, és ilyenkor mint az adott területhez értő, független harmadik félnek igazolnia kell, hogy az adott operatív biztonsági cél integritása megfelelő.

Az EASA meghatározta, hogy melyek azok az OSO-k, ahol lehetősége van egy független harmadik félnek kiadnia a megfeleléséről szóló igazolást, és melyek azok a területek, amelyeket magához vont, és csak ő adhat ki ilyen dokumentumot. Egyes OSO-k esetén már a közepes megalapozottság is igényli az EASA vagy más szervezet általi igazolást/tanúsítást/jóváhagyást.

5.2. A design verification report

Az EASA úgy döntött, hogy a SAIL alapján három csoportba sorolja a speciális műveleteket. Az alacsony kockázatúnak tartott SAIL I és II esetében a gyártó által az UAS-hoz mint termékhez a megfelelőségértékelési eljárásban kiállított megfelelőségi nyilatkozat is elfogadható, bármely egyéb magasabb szintű tanúsítás opcionális.

A SAIL III–IV-be sorolt közepes kockázatot jelentő műveletek esetében azonban a tagállami légi közlekedési hatóságnak (hatóság) kell, hogy a tervezéssel kapcsolatos OSO-kat úgynevezett *design verification report* (tervezésigazolási jelentés) keretében kell-e tanúsítani. Ezt az eljárást az EASA folytatja le, amely – hasonlóan a hagyományos repülőgépeknel megszokottakhoz – megvizsgálja az UAS műszaki-tervezési paramétereit, miközben minden más OSO vizsgálata (így a gyártáshoz kapcsolódók is) a hatóság hatásköre marad, és a hatóság vizsgálja az üzemben tartó által e körben benyújtott dokumentáció által biztosított megalapozottságot.

A SAIL V–VI-ba sorolt műveletek azok a magas kockázatú műveletek, amelyek esetén az EASA kötelező tanúsítást ír elő.

A tervezéshez kapcsolódó OSO-k az alábbiak [13], [14], [15]:

- OSO #02, #04, #05, #06, #10, #12, #18, #19 (kizárólag a #3 feltétel vonatkozásában), #20, és #24;
- M1 kockázatcsökkentő intézkedés (kikötött műveletek): #1 feltétel és M2 kockázatcsökkentő intézkedés: #1 feltétel;
- rendszerigazolás arra vonatkozóan, hogy a speciális műveletek kockázatértékelési eljárás (*Specific Operations Risk Assessment*, SORA) 9. sz. lépésének megfelelően a műveleti légtér részben marad az UAS a művelet ideje alatt.

Scope: Design elements



Enhanced Containment
(SORA step 9)

OSO number	Technical issue with the UAS	I	II	III	IV	V	VI
OSO02	UAS manufactured by competent and/or proven entity (design)	O	O	L	M	H	H
OSO04	UAS developed to authority recognised design standards	O	O	L	M	H	H
OSO05	UAS is designed considering system safety and reliability	O	O	L	M	H	H
OSO06	C3 link performance	O	L	L	M	H	H
OSO10	Safe recovery from a technical issue	L	L	M	M	H	H
OSO12	UAS designed to manage the deterioration of external systems supporting UAS operations	L	L	M	M	H	H
OSO13	External services supporting UAS operations	L	L	M	M	H	H
OSO18	Automatic protection of the flight envelope	O	O	L	M	H	H
OSO19	Safe recovery from human error	O	O	L	M	M	H
OSO20	A human factors evaluation	O	L	L	M	M	H
OSO24	Adverse environmental conditions	O	O	M	M	H	H

→ Technical mitigations
→ Design related OSOs

 EASA

2. ábra

A tervezéssel kapcsolatos és az EASA által a „tervezési igazolás” során vizsgált OSO-k [13]

Az EASA ezért az alábbi elemek megfelelőségét vizsgálja:

- az UAS tervdokumentációja,
- a tervezéssel kapcsolatos kockázatcsökkentő intézkedések; és
- a megerősített elkülönítési funkciók (művelet céljára szolgáló légtérrel elhagyásának megakadályozása).

Ahogy azt fentebb is írtuk, a Hatóságon múlik, hogy előírja-e a „tervezésigazolási jelentés” beszerzését vagy sem, de nemleges döntés esetén a Hatóság is viseli ezért a felelősséget. Ezért az EASA azt ajánlja a tagállami hatóságoknak, hogy éljenek ezzel a lehetőséggel, különösen a lakott területek feletti repülések engedélyezése esetén.

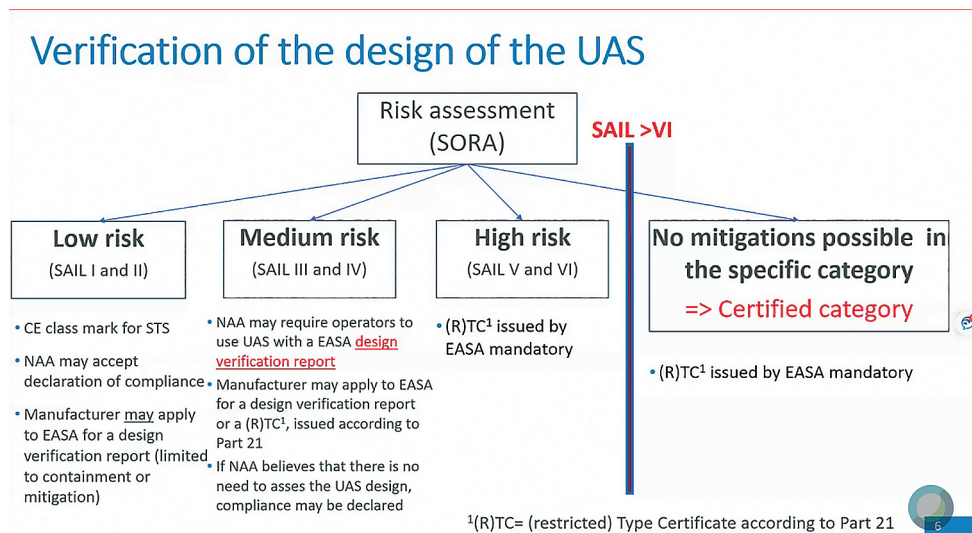
Egy másik fontos jellemzője a „tervezésigazolási jelentésnek”, hogy nem általánosságban, hanem a tervezett művelethez (*concept of operation*) kapcsolódva tanúsítja a megfelelőséget, és nem jelenti azt, hogy bármely, a speciális kategóriába tartozó művelet végezhető vele a továbbiakban.

A „tervezésigazolási jelentéssel” nem érintett OSO-k, ideértve a gyártással kapcsolatosakat is, továbbra is tagállami hatáskörben maradnak, ami megkérdőjelezi az EASA által kidolgozott eljárás hatékonyságát – szemben a megfelelőségértékeléssel, amely eljárás egy egységként kezeli a tervezést és a gyártást. Ha figyelembe vesszük, hogy a „tervezésigazolási jelentés” – szemben az EASA által kiadott típusalkalmassági tanúsítvánnyal – kizárólag az Európai Unióban érvényes, annak az értelme, hogy a megfelelőségértékelési eljárás és a típusalkalmassági tanúsítás közé egy harmadik tanúsítási modellt vezetnek be, erősen kérdésessé válik.

Ráadásul azzal, hogy a tagállami hatóságokra bízta az EASA a „tervezésigazolási jelentés” szükségességének eldöntését, utat nyitott az eltérő hatósági gyakorlatok kialakulásának, amely végső soron szembe megy a Végrehajtási Rendelet preambulumban deklarált cél, az UAS-ek egységes piaca létrehozásának tervével.

Az a tény, hogy a Végrehajtási Rendelet 13. cikke szerint a megfelelő műveleti engedély vagy LUC birtokában egyes UAS-üzembentartók határokon átnyúló műveleteket végezhetnek az Európai Unión belül, anélkül, hogy a külföldi tagállam hatósága a „tervezésgazolási jelentés” beszerzését előírhatná, hátrányosan érinti azokat az üzemben tartókat, akiknek a honosságuk szerinti hatósága ezt előírta.

Összegző a speciális műveleti kategóriára irányadó szabályokat a 3. ábra bemutatja az egyes kockázati szintekhez igazodó tanúsítási szabályokat.



3. ábra

Tanúsítási szabályok a speciális műveleti kategóriában [13]

Látható tehát, hogy a speciális műveleti kategóriában a szabályozási logika tekintetében komoly elmozdulás van a termékbiztonsági megközelítéstől a közlekedésbiztonsági szemlélet irányába. Ennek lényege, hogy nem a gyártási folyamat áll a megfelelőség igazolásának középpontjában, hanem az üzemeltetés, illetve az annak során detektált kockázatok kezelésének módja.

A nyílt kategóriába szánt drónokkal ellentétben a speciális műveleti kategóriában az üzemben tartó mint a művelet sarokpontjainak meghatározója sokkal nagyobb felelősséggel tartozik a drón mint légi jármű megfelelőségéért, hiszen a megfelelőség ebben a kategóriában a kockázatok csökkentésére, azaz a közlekedésbiztonság magas szintjének fenntartására való képességet jelenti.

A műveleti engedély Felhatalmazáson Alapuló Rendelet 40. § (3) bekezdése értelmében tanúsítványként is szolgál a légi közlekedési hatóság által a drón által teljesítendő – a kockázatok megfelelő mértékű csökkentése érdekében előírt – műszaki-biztonsági képességek vonatkozásában. A műveleti engedély, illetve LUC (korlátozott) típusalkalmassági tanúsítvány ([Restricted] Type Certificate, [R]TC) jellegét támasztja alá az EASA-féle felosztás is, amelyet 3. ábra mutat be.

6. Típusalkalmassági tanúsítvány – engedélyköteles műveleti kategória

Az *ex lege* engedélyköteles műveletekre⁷ szintén az EASA szerinti tanúsítás vár, jóllehet jelenleg nem állnak rendelkezésre a meglévő, hagyományos légi járművek tanúsítási szabályainak a pilóta nélküli légi járművekre optimalizált verziói, mindössze elképzelések vannak ezekről [15].

Ennek is köszönhető, hogy a személyszállításra alkalmas eVTOL⁸ drón, vagyis a „légitaxi” mint legismertebb ilyen műveleti kategóriába sorolandó drónfelhasználási forma – bár számos ilyen irányú fejlesztés zajlik – még nem jelent meg a napi forgalomban és nem terjedt el.

A speciális kategória egyfajta „híd” szerepet játszik a nyílt és az engedélyköteles műveleti kategóriák szabályai között. Ennek eklatáns példája a tanúsításköteles drónok fajtáinak felsorolása a Felhatalmazáson Alapuló Rendeletben,⁹ amelynek 40. cikk 1) d) alpontja az olyan, egyébként speciális műveleti kategóriában üzemeltetett drónoknak is olyan EASA által lefolytatott tanúsítást ír elő, ahol – a légi közlekedési hatóság megítélése szerint – ennek hiányában nem lehetséges a kockázatok megfelelő csökkentése.

A 3. ábra ugyanakkor a hivatkozott jogszabályhely egy újfajta, kiterjesztő értelmezésével is szolgál. Az ábra szerint a SAIL V–VI kockázati szintű műveletek, bár speciális műveleti kategóriába sorolandók, az EASA értelmezése alapján valójában már ezek a műveletek is az engedélyköteles kategóriába tartoznak, hiszen a Végrehajtási Rendelet 6. cikk (2) bekezdése szerint a tanúsítással érintett műveletek mind az engedélyköteles kategóriába tartoznak. Azaz a speciális műveleti kategória tanúsítási kötelezettség szempontjából valójában csak a SAIL I–IV kockázati szintig tart, ha elfogadjuk ezt az értelmezést. És amennyiben így tesznek a tagállamok, akkor annak eredményeként SAIL V szint mellett már Part 21 szerinti tanúsításra lesz szükség, amely – túl azon, hogy egyes esetekben túlzott terhet ró az üzemben tartóra – új határt szab a speciális és az engedélyköteles kategória között.

7. Összefoglalás

Jelen cikkben célunk a pilóta nélküli légi járművek tanúsításával kapcsolatos uniós szabályozás rendszerének és összefüggéseinek bemutatása volt. Arra kívántuk felhívni a figyelmet, hogy a Végrehajtási Rendelet által meghatározott három műveleti kategória mennyire eltérő, de egymástól nem függetlenül létező szabályozási logikát és rendszert követ a drónok tanúsítása, megfelelőségük ellenőrzése tekintetében. Ezek az eltérő jogfilozófiák teszik lehetővé, hogy a pilóta nélküli légi járművek a méretükből és felhasználásukból eredő kockázatokkal arányos, a hagyományos légi járművektől való különbözőségüket kezelni képes, az egész Európai Unióra nézve egységes szabályrendszer jött létre.

⁷ Végrehajtási Rendelet 6. cikk (1) b) pont.

⁸ *Electric Vertical Take-Off and Landing* – elektromos meghajtású függőleges fel- és leszállás.

⁹ Felhatalmazáson Alapuló Rendelet 40. cikk (1) bekezdés.

Felhasznált irodalom

- [1] „Treaty on the Functioning of the European Union,” *Official Journal of the European Union* C 326, 55. évf. 2012. október 26. Online: https://doi.org/10.3000/1977091X.C_2012.326.eng
- [2] „Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems,” *Official Journal of the European Union* L 152, 62. évf. 2019. június 11. Online: http://data.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj
- [3] „Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft,” *Official Journal of the European Union* L 152, 62. évf. 2019. június 11. Online: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj
- [4] „Regulation (EC) No 765/2008 of the European Parliament and of the Council of 9 July 2008 setting out the requirements for accreditation and market surveillance relating to the marketing of products,” *Official Journal of the European Union* L 218, 51. évf. 2008. augusztus 13. Online: <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/765/oj>
- [5] „Decision No 768/2008/EC of the European Parliament and of the Council of 9 July 2008 on a common framework for the marketing of products,” *Official Journal of the European Union* L 218, 51. évf. 2008. augusztus 13. Online: [http://data.europa.eu/eli/dec/2008/768\(1\)/oj](http://data.europa.eu/eli/dec/2008/768(1)/oj)
- [6] European Commission, *Legislations*. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=directive.main>
- [7] European Commission, *Good practice for market surveillance*. 2017. május 6. Online: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/23041>
- [8] „Regulation (EU) 2019/1020 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on market surveillance and compliance of products and amending Directive 2004/42/EC and Regulations (EC) No 765/2008 and (EU) No 305/201,” *Official Journal of the European Union* L 169, 62. évf. 2019. június 25. Online: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1020/oj>
- [9] European Commission, *DG DEFIS 1st ADCO Drones Meeting* 2020. november 7.
- [10] Operations in the medium risk of the specific category (part of a webinar held by EASA on 29 September 2020)
- [11] Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems, *JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)*. JAR-DEL-WG6-D.04. 2019. január 30. Online: http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_doc_06_jarus_sora_v2.0.pdf
- [12] European Union Aviation Safety Agency, *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947*. 2019. október 9. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/AMC%20%26%20GM%20to%20Commission%20Implementing%20Regulation%20%28EU%29%202019-947%20%E2%80%94%20Issue%201.pdf
- [13] European Union Aviation Safety Agency, *Drone design verification in the medium risk specific category operations* (part of a webinar held by EASA on 16 April 2021)
- [14] European Union Aviation Safety Agency, *Guidelines on Design verification of UAS operated in the 'specific' category and classified in SAIL III and IV*. 2021. március 31. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/guidelines_design_verification_uas_medium_risk.pdf

- [15] European Union Aviation Safety Agency, *Special Condition Light Unmanned Aircraft Systems – Medium Risk*. SC Light-UAS Medium Risk 01. 2020. december 17. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/special_condition_sc_light-uas_medium_risk_01.pdf

Certification of Unmanned Aircraft Systems – From Product Safety to Type Certificate – A Review about the Operation of the EU Safeguard Processes

Significant changes are emerging in the market of unmanned aircraft systems since 2019 through the publication of two specific regulations that regulate all steps of the use of unmanned aerial vehicles in detail. With the implementation of the new EU drone regulations, the role of the notified bodies and the certification agencies will be more important from the viewpoint of product safety and the official certification required by the EU and national aviation authorities. The product safety chain consists of two major parts. One part belongs to the production phase and another part belongs to the distribution market. Each segment is presented in this article and the authors introduce the different control approaches of these segments. It has to be taken into consideration that the drones are representing a special market with notable safety risks that have to be handled during the whole lifepath of the products from the design through the distribution until the aerial operations.

Keywords: product safety, unmanned aircraft systems, market surveillance, drone regulation

Dr. Sándor Zsolt, PhD légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760	Zsolt Sándor, PhD Aviation Expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760
Dr. Pusztai Máté légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554	Máté Pusztai, jur. PhD Aviation Expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554

A mű a GF/JSZF/872/1/2020 iktatószámú Megállapodás alapján a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Biztonsági Technológiák Nemzeti Laboratórium projekt finanszírozásával valósult meg.

Horváth Gergely, Szilvássy László

Az Airbus H145M helikopter fegyverei II. – HForce fegyverrendszer

A cikkben a szerzők bemutatják az Airbus H145M könnyű, többcélú helikopter fedélzeti fegyvereit. A fegyverrendszer tárgyalásakor részletesen kitérnek a HForce tulajdonságaira és részletezik a különböző lehetőségeket. Bemutatják még a helikopter elektronikai hadviselési rendszerét.

Kulcsszavak: Airbus H145M, helikopter, fegyverzet, többcélú, elektronikai hadviselési rendszer

1. Bevezetés

A H145M helikoptereket a *Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program* keretében szerezték be. A típus a polgári életben széleskörűen elterjedt MBB-Kawasaki BK 117 C1 típus továbbfejlesztett, katonai feladatokra optimalizált változata. Az alaptípus 1979-ben repült először, és a 2004-ig tartó gyártása során 440 darabot értékesítettek világszerte. Az alaptípus továbbfejlesztésével jött létre a BK 117 C2 típus, amely nagyobb maximális felszállótömeget és teljesítményt biztosított az üzemeltetők számára. A fejlettebb C2 altípus 1999-ben emelkedett először a levegőbe és gyártása egészen 2017-ig folytatódott. A német–francia–japán koprodukción készülő típusból összesen 830 darabot értékesítettek. Az európai repülő- és hadiipari cégek fúziójaként ezt a típust már Eurocopter EC 145 néven forgalmazták. A helikopter kiváló tulajdonságai felkeltették az Egyesült Államok Hadseregének az érdeklődését is, ahol UH-72A Lakota néven rendszeresítették, elsősorban kiképzési és logisztikai támogató feladatkörök ellátására, leváltva e feladatkörökben az ősrégi UH-1 Iroquois és OH-58 Kiowa típusokat. A Lakoták gyártása ugyanúgy a németországi Donauwörthben történik, többek között a japánból érkező fődarabok beépítésével, viszont a végszerelés már az Egyesült Államok Mississippi államában felépített EADS North America üzemében valósul meg [1], [10].

A típus fejlesztése azonban nem állt meg, 2010-ben repült először a Fenestron® farok-légcsavarral, Ariel 2E digitális vezérlésű hajtóművekkel és a Helionix® integrált avionikai rendszerrel ellátott BK 117 D2 típus. Közben a korábbi gyártó az EADS is beolvadt az Airbus konzorciumba, és az új, megnövelt teljesítményű típus H145 néven jelent meg az Airbus Helicopters termékpalettáján. A típus katonai feladatokra optimalizált változatát először Németország rendszeresítette 15 példányban a különleges erők támogatására. A típus legnagyobb megrendelője hazánk lett, Magyarország kormánya 2018 júliusában összesen 20 darab H145M helikopter (1. ábra) leszállítására, valamint az ahhoz kapcsolódó kiképzési

és logisztikai támogató szolgáltatásokra kötött szerződést az Airbusszal. Hazánkban a típust 3 különböző konfigurációban rendszeresítik:

- 5 db kutató-mentő felszereltségű SAR;¹
- 5 db felfegyverezhető MP;²
- 10 db LUH³ verziójú helikopter [7], [10].

A típus első 2 példánya 2019 októberében szállt le a Szolnok Helikopter Bázison, míg az utolsó 2 db, egyébként kiképzési feladatokra Németországban maradt helikopter leszállítása 2021 végén várható.

A típus fejlesztése nem állt meg. Már repül az öt forgószárnylapátos elrendezésű BK 117 D3 változat, amely 150 kg-mal több hasznos teher szállítására képes, és a maximális felszállótömege a korábbi 3700 kg-ról 3800 kg-ra emelkedett.

A BK 117 D3 változat a sikeres tesztrepülések és a gyártás előkészítését követően 2021 második felétől lesz elérhető a polgári megrendelők számára, míg katonai változata csak 2022-től. Fontos megjegyezni, hogy a korábbi BK 117 D2 üzemeltetők is a későbbiekben, ha igény van rá, át tudják alakítani a nagyobb felszállótömegű D3 verzióra.



1. ábra
Spike ER rakétákkal (feltehetően makettekkel) felszerelt német lajstromú H145M [2]

¹ SAR – Search and Rescue, kutató-mentő konfiguráció.

² MP – Multipurpose, több feladatú konfiguráció.

³ LUH – Light Utility Helicopter, könnyű támogató helikopter.

A Magyar Honvédség által megrendelt helikopterek ugyan 3 különböző konfigurációban érkeznek, azonban fejlett, moduláris architektúrájuknak köszönhetően a HForce fegyverrendszer, és annak fedélzeti blokkjai, alkatrészei mind a 3 modifikációban (LUH/SAR/MP) helikopterre átépíthetők. A H145M helikopterek 5 db Nexter NC621 20 mm-es gépágyúkonténerrel és 5 db FZ231 70 mm-es nem irányítható rakéta (NIR-) blokkal fognak érkezni, beleértve a kiszolgáláshoz, üzemeltetéshez szükséges szerszámokat, alkatrészeket és ellenőrző berendezéseket is. A helikopter önvédelmére és támogató feladatok ellátására, a két oldalajtóba fegyverállványokat szereztek be, amelyek már a Honvédség jövőbeni 7,62 mm-es szabvány géppuskáját az FN MAG 58 típust képesek befogadni. A géppuskák egyetlen hátránya, hogy külső függesztmények (géppuska, gépágyúkonténer, NIR-blokkok) alkalmazása esetén azok az oldalajtókban nem használhatók, elsősorban a helikopterek kis méretéből adódóan, ellenében más felfegyverezhető szállítóhelikopterekkel (Mi-17, UH-60 stb.).

A felhasználói igényekre reagálva az Airbus Helicopters Deutschland GmbH. megkezdte az izraeli Rafael Spike ER típusú páncéltörő rakétarendszer integrációs tesztjeit, és az interneten megjelent fotók szerint a helikopter összesen 2 × 4 db Spike ER hordozására és indítására lesz képes, ami igen komoly páncéltörő képesség egy könnyű, többcélú forgószárnyas eszköztől.

2. Az Airbus H145M helikopter fegyverrendszere

Az Airbus Helicopters, a H145M gyártója a Tiger típusú harci helikopterek üzemeltetési és fejlesztési tapasztalatai alapján alkotta meg a HForce fegyverrendszert. A HForce fegyverrendszert az Airbus helikopter típusai közül az alábbi típusokra lehet telepíteni, és ezek szereztek meg a szükséges hatósági tanúsítványt:

- a H125M, ami az AS350B⁴ kéthajtóműves katonai változata;
- a H145M könnyű többcélú helikopter;
- valamint a 2023-tól rendszeresítendő H225M közepes, többcélú helikopter [4].

A HForce moduláris fegyverrendszert 4 különböző konfigurációban lehet megrendelni (lásd 2. ábra) [4]:

- HForce 0-opció: amely a fegyverzet függesztéséhez szükséges rendszerek előbeépítését jelenti;
- HForce 1-opció: amely a ballisztikus fegyverek⁵ alkalmazását teszi lehetővé a HMSD⁶ segítségével;
- HForce 2-opció: amely a fentebb említett fegyverzet alkalmazási lehetőségét (elsősorban éjszaka/rossz látási viszonyok között) kibővíti az EOS⁷ alkalmazásával;
- HForce 3-opció: amely a fentebb említett képességeken túl lehetővé teszi az irányítható rakéták alkalmazását is. A Magyar Honvédség által megrendelt 20 db H145M helikopter is ebben a konfigurációban készül el.

⁴ AS350B helikopter egyhajtóműves változatát a Magyar Honvédség is üzemelteti.

⁵ Ballisztikus fegyverek: a tüzérfegyvereket és a nem irányítható rakétákat (NIR) foglalja magában.

⁶ HMSD – *Helmet Mounted Sight and Display*, sisakcélzó.

⁷ EOS – *Electro-Optical System*, elektrooptikai rendszer.

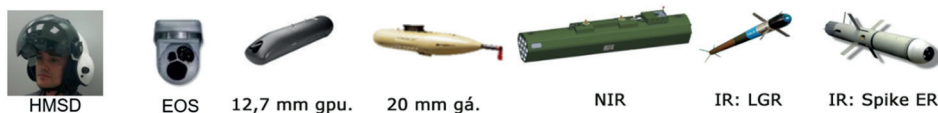
Verzió 1:ballisztikus fegyverek sisakcélzóval



Verzió 2: ballisztikus fegyverek sisakcélzóval és EOS alkalmazásával



Verzió 3: ballisztikus fegyverek és/vagy irányítható rakéták sisakcélzóval és EOS alkalmazásával



2. ábra
A HForce 1–3 opciók [4] [6]

Magát a fegyverrendszert az esetleges megrendelő igényei szerint, modulárisan tervezi meg és építi be az Airbus Helicopters.

Alapvetően fegyverrendszernek nevezzük, azonban a HForce kifejezés az alábbi támadó- és önvédelmi képességeket is magában foglalja [4]:

- az irányítható és nem irányítható fegyverzet vezérlésére szolgáló tűzvezető rendszert, amelyet szokás HForce Core Unit-nak is nevezni;
- a pilótafülke és a kabin ballisztikai védelmét a kis kaliberű lövedékekkel szemben ellátó LAPK,⁸ valamint az öntömítő tüzelőanyag-tartályt;
- az elektrooptikai szenzortornyot, az EOS-t;
- a sisakra épített kijelző- és célzórendszert (HMS), illetve az éjszakai harctevékenységet is lehetővé tevő éjjellátó szemüvegeket;
- a fegyverek felfüggesztésére szolgáló rendszert, az SRU⁹-t;
- a fegyvereket, amelyek magukban foglalják a függeszthető, valamint az oldalajtókba szerelhető géppuskákat is;
- a helikopter önvédelmi rendszerét, az EWS¹⁰-t.

⁸ LAPK – *Light Armour Protection Kit*, könnyű páncélkészlet.

⁹ SRU – *Suspension Release Unit*, függesztménykioldó rendszer.

¹⁰ EWS – *Electronic Warfare System*, elektronikai hadviselési rendszer.

3. HForce-rendszer

Ami a HForce-rendszer alapvető fedélzeti blokkjait illeti, hardveresen és szoftveresen is a megrendelő igényeihez és a kiválasztott fegyverzettípusokhoz illeszthető [4].

A Core-, vagyis a HForce-rendszer központi eleme az alaprendeltetésű számítógép (GPC¹¹), amely felelős a rendszer általános menedzsmentjéért, amely magában foglalja az alábbi funkciókat [4]:

- a helikopter avionikai rendszereihez történő csatlakozás;
- a funkciók elosztása;
- a videójelek multiplexelése és a szimbólumok megjelenítése;
- tűzvezetés;
- és az egész rendszer felügyelete.

A GPC funkcióit a csatoló egység (RIU)¹² egészíti ki, ami biztosítja az analóg és a digitális jelek összegyűjtését és átalakítását. A Core-rendszerhez tartozik egy 10"-os (254 mm-es) kijelző az úgynevezett Mission Display,¹³ amely az elektrooptikai szenzororony videójelét, a fegyvereket felügyelő és egyéb más, a fegyverek beállításával és az alrendszerek harmonizációjával kapcsolatos információkat jeleníti meg [4].

A tűzvezérlő relé doboz (*fire unit relay box*) a tűzparancsok biztonságos végrehajtását teszi lehetővé, kialakítását tekintve egy elektromechanikus relét tartalmazó berendezés.

A fegyverzet irányító/vezérlő rendszer az alábbi berendezésekből áll [4]:

- a) A fegyvervezérlő panel (WCP),¹⁴ amely biztosítja a gépszemélyzet részére a HForce-rendszer normál vagy tartalék üzemmódban való alkalmazását. A WCP továbbá lehetővé teszi a megfelelő fegyver kiválasztását, abban az esetben is, ha a helikopter szimmetrikus függesztési változattal repül (például 1–1 db NIR-blokk mindkét oldalon), vagy aszimmetrikus függesztési változattal (1 db NIR-blokk a jobb oldalon és 1 gépágyú konténer a bal oldalon). A WCP biztosítja továbbá a rendszer tűzkészítéssel a tűzmegnyitás előtt, valamint tájékoztatást ad a fegyverkiválasztás és -alkalmazás hibáiról.
- b) A tűzérőfegyver vezérlő egység (CCU)¹⁵ biztosítja a helikoptervezető/fedélzeti rendszerkezelő számára a fegyver kiválasztását (bal/jobbi oldali konténer vagy mindkettő), az alkalmazandó lőszer mennyiségét, a sorozatok hosszát, valamint a fegyverek ismételt tűzkész helyzetbe hozását konténerenként. A CCU továbbá tájékoztatást ad arról is, ha bármelyik tűzérőfegyvernél akadály lépne fel.
- c) A fegyvervezérlő rendszer harmadik elemei azok a kezelőszervek, amelyeket a helikoptervezető és helikoptervezető/fedélzeti rendszerkezelő botkormányán és egyesített vezérlőkarján helyeztek el (például elsütő billentyű). További kezelőszervek találhatók a fegyverkezelő karon (GAG),¹⁶ amely lehetővé teszi a helikoptervezető/fedélzeti rendszerkezelő számára a Mission Display vezérlését, a fegyver előkészítését

¹¹ GPC – General Purpose Computer, alaprendeltetésű számítógép.

¹² RIU – Remote Interface Unit, csatolóegység.

¹³ Mission Display – feladat-megjelenítő.

¹⁴ WCP – Weapon Control Panel, fegyvervezérlő panel.

¹⁵ CCU – Cannon Control Unit, tűzérőfegyver-vezérlő egység.

¹⁶ GAG – Gunner Armament Grip, fegyverkezelő kar.

a kiválasztott tüzelési módhoz, valamint a tűzmegnyitást is, a pilóta botkormányán lévő elsütőbillentyűtől függetlenül.

A célzórendszer két különböző részből áll [4]:

- a) Alapvetően egy sisakra épített célzó- és kijelző rendszer (*Helmet Mounted Sighting and Display system*, HMSD), amely arra szolgál, hogy a pilóta egyik szeme elé kivetítse a helikopter vezetésével kapcsolatos információkat és vészjelzéseket, de egyben lehetővé teszi a célzást és a célzóvonal generálását a GPC tűzvezető funkciója alapján. Továbbá kijelzi a kiválasztott fegyver típusát, a löszerek és rakéták típusát és mennyiségét. Opcionálisan a helikoptervezető/fedélzeti rendszerkezelő is ellátható saját HMSD-vel, és önállóan is használhatja célzásra. A HMSD – gyártója a Thales Vivionix Incorporated (TVI) és a Scorpion™ – egy olyan moduláris sisakcélzó rendszer, amely a rendszeresített hajózó sisakok széles választékára felszerelhető például az amerikai sisakokhoz rendszeresített „banana bar”-ral, vagy pedig a Thales „Mohawk” (Mohikán) elnevezésű adapterével. A Magyar Honvédség helikoptervezetői részére egyébként a francia MSA Gallett LH250 típusú könnyű helikoptervezető sisakját rendszeresítették, amely a „Mohawk” adapterrel kompatibilis (lásd 3. ábra). A HMSD lehetővé teszi, hogy a helikoptervezetőknek ne kelljen folyamatosan a műszerfalon lévő MFD¹⁷-ket figyelnie, hanem a kabinból kinézve, bármely helyzetben is képes a legfontosabb repülési információk és a célzáshoz szükséges szimbolika megjelenítésére [4].



3. ábra

A Thales Scorpion HMSD és a Helie éjjellátó szemüveg együttes alkalmazása [9]

¹⁷ MFD – *Multi Function Display*, többfunkciós kijelző.

A rendszer a későbbiekben, a továbbfejlesztések nyomán képes lesz a szenzoroktól érkező videójelek megjelenítésére is. A HMSD szem előtti kivetítője nagy felbontású szimbólumokat képes megjeleníteni egy reflexüvegen és $26^\circ \times 20^\circ$ (vízszintes $\times$ függőleges) a látómezeje. A reflexüveg könnyen beállítható, személyre szabható, így nem igényel komplex beszabályozást. A kijelző felület a felhasználó szeme és egy éjjellátó szemüveg (NVG¹⁸) nézőkéje közé pozicionálható, lehetővé téve annak a használatát éjszaka is. A Magyar Honvédség H145M helikopter vezetői részére a szintén Thales fejlesztésű HELIE[®] éjjellátó szemüvegeket rendszeresíti. A „Mohawk” adapter magában foglal egy elektrooptikai szenzorrendszert is (HOBIT),¹⁹ amely lehetővé teszi a felhasználó fejpozíciójának a lekövetését 6 tengelyben (x, y, z tengelyek, bedöntés, bólintás, útirány). A szenzorrendszer és a hozzá tartozó illesztő egység így biztosítja a repülési információk és a célzáshoz szükséges jelzések pontos számításokon alapuló megjelenítését. Az elektrooptikai szenzorrendszer egyébként a pilótafülke szélvédőjének a felső részén elhelyezett optikai referenciapontok láthatósága alapján számítja ki a sisak pozíciójának szögértékeit. A SCORPION™ kompatibilis olyan biztonsági szemüvegekkel is, amelyek a hajózók szemét védik meg a különböző lézertényforrások káros hatásaitól [4], [9].

- b) A nagy felbontású elektrooptikai szenzortorony (EOS) (lásd 4. ábra) lehetővé teszi a célok felderítését, azonosítását és felismerését közepes távolságig nappal/éjszaka és rossz látási viszonyok között is a nappali, alacsony fényszintű és infravörös képalkotó szenzorainak köszönhetően. Az EOS képét a GPC ellátja a különböző, a fegyverek alkalmazásához szükséges szimbólumokkal és jelzésekkel és az így átdolgozott videójelet Mission Display-en vagy pedig a 1-es számú multifunkciós kijelzőn (MFD 1) is megjeleníti. Az EOS-rendszer továbbá a beépített lézer távolságmérőjének és GPS²⁰-vevőjének köszönhetően a céloknak a mágneses északhoz viszonyított pozícióját, tengerszint feletti magasságát, távolságát, földrajzi és MGRS²¹-koordinátáit képes kidolgozni. Az EOS-lézer célmegvilágításra is alkalmazható különböző hullámhosszokon, így alkalmas a saját fedélzeti rakéták és más külső lézerirányítású fegyverek (repülőgép-fedélzeti bombák, tüzérségi löszerek stb.) célravezetésére. Az EOS rendelkezik továbbá egy infravörös hullámtartomány közeli megvilágító/megjelölő lézerrel is, amely lehetővé teszi a célok megjelölését például éjjellátó szemüveget viselő felderítők, lövészek stb., vagy más repülőeszközök számára is. Az EOS minden fő funkciója az úgynevezett Mission Grip/EOS Grip (EOS-kezelőkar) segítségével vezérelhető, amely a helikoptervezető/fedélzeti rendszerkezelő ülése mellett található. Fontos, hogy az EOS-nak több kimenő videójele is van, amelyeket egy többfunkciós digitális videófelvevő képes rögzíteni, amely egyaránt lejátszható a fedélzeten a feladat kiértékelése céljából, vagy pedig egy hordozható adattároló segítségével lementhető és a későbbiekben visszanezézhető [4].

¹⁸ NVG – *Night Vision Goggle*, éjjellátó szemüveg.

¹⁹ HOBIT – *Hybrid Optical Based Inertial Tracker*, elektrooptikai inerciális pozíciókövető.

²⁰ GPS – *Global Positioning System*, globális helymeghatározó rendszer.

²¹ MGRS – *Military Grid Reference System*, katonai földrajzi hálózati rendszer.



4. ábra
Az EOS egy H145M helikopteren, hordhelyzetben [6]

Az alkalmazható fegyverek típusa – amely lehet csupán ballisztikus és/vagy irányítható fegyver – attól függ, hogy a megrendelő milyen fegyveropcióval és milyen szintű HForce-képességsomaggal rendelte meg a H145M helikoptert. A különböző fegyverkonténerek lehetővé teszik géppuskák, gépágyúk és különböző rakéták alkalmazását a helikopter repülési irányában a hossz tengely mentén. A fegyverzet rögzítésére a többcélú pilonok (MPP)²² (lásd 5. ábra), valamint a függesztményrögzítő rendszer (SRU) szolgál. Az SRU többfajta, közepes tömegű fegyver függesztésére is alkalmas, köszönhetően a NATO-szabványú 14"-es (355,6 mm-es) függesztőszemeknek. Az SRU, köszönhetően az egyszerűen használható mechanikus kezelőszerveinek, lehetővé teszi a konténerek gyors függesztését, beállítását és repülés utáni lefüggesztését. A konténerek vészhelyzet esetén egyidejűleg is leoldhatók, köszönhetően a vészoldó berendezésnek, amely független a HForce-rendszertől. A konténerek véletlen tüzelés és oldás elleni földi biztosítására az SRU-n speciális biztosító tuskék (földi biztosítók) szolgálnak. A különböző konténerekhez saját oldható kábel tartozik, amely duplex kommunikációt biztosít a berendezés és a konténer között, ilyen lehet például az újratöltésre, a sorozathosszra, a tűzparancsra stb. vonatkozó jelek, a HForce-rendszer irányába pedig a konténer állapotáról például tűzkésztség, meghibásodás stb. Minden konténer rendelkezik saját

²² MPP – Multi Purpose Pylon, többcélú pilon.

biztosító rendszerrel is, amely lehetővé teszi azok biztonságos földi kiszolgálását is (töltés/ürítés/fesztelenítés/akadályelhárítás stb.) [4]. A HForce-rendszer lehetővé teszi a szabvány tüzérfegyverek, 12,7 mm-es géppuska és/vagy 20 mm-es gépágyú, 70 mm-es irányítható-, és nem irányítható rakéták alkalmazását blokkokból, valamint irányítható páncéltörő rakéták (Rafael Spike ER) alkalmazását is. Köszönhetően a HForce-rendszer többcélú és moduláris felépítésének, nem szabvány nyugati/NATO-fegyvereket is alkalmazhatnak, mint ami meg is történt a szerb haderő számára leszállított H145M helikopterek²³ esetében. A HForce-rendszer szoftveres és hardveres továbbfejlesztésének köszönhetően fejlett hadműveleti rendszerek (Link16 adatátviteli és L3 Downlink videóátjátszó) is integrálhatók a helikopter fedélzetére, ezáltal kiemelkedő képességű légi vezetés-irányítási és felderítő (C4ISR²⁴) rendszerré is válhat [4], [8].



5. ábra
A H145M helikopter függesztő rendszere (SRU) [6]

²³ A szerb H145M helikopterekre integrálták a szovjet/országi B8-20 blokkot, az Sz-8 nem irányítható rakétákkal. (A szerző megjegyzése.)

²⁴ C4ISR – Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance szó szerint: parancs, irányítás, kommunikáció, számítógépek, hírszerzés, megfigyelés és felderítés. Valójában egy komplex fedélzeti rendszert takar, amely légi vezetés-irányítási és felderítő funkciókkal is rendelkezik.

3. A helikopter elektronikai hadviselési rendszere

A H145M helikopter köszönhetően az önvédelmi rendszere képes arra, hogy feladatokat hajtson végre ellenséges terület fölött. Az EWS képes az ellenséges légvédelmi fegyverek észlelésére, bemérésére, azonosítására és megfelelő riasztást ad a személyzetnek, valamint kezdeményezi a megfelelő zavarótöltetek kibocsátását. A német Hensoldt által gyártott fedélzeti rakétavédelmi rendszer (AMPS)²⁵ az alábbi funkciókat látja el [5]:

- a rakétaindítások észlelése;
- a veszélyforrások azonosítása és osztályozása;
- vizuális veszélyfigyelmeztetés a hajózó személyzet számára a multifunkciós kijelzőkön keresztül, valamint figyelmeztető hangjelzés az intercomon keresztül;
- a megfelelő zavarótöltet automatikus kiválasztása és indítása. A helikopter összesen 4 zavarótöltet-kivetővel rendelkezik, amelyik mindegyikébe 5 × 6 db NATO-szabványú (összesen 120 db) 1" × 1" × 8"-os (25,4 mm × 25,4 mm × 203,2 mm) töltet tölthető, többek között radarzavaró dipólkötegek vagy különböző infravörös spektrumú és hosszú égési idejű infracsapdák;
- a rendszer képes a fenyegetések rögzítésére a bevetés utáni kiértékeléshez, hogy a különböző veszélyforrások megfelelően legyenek azonosítva, annak érdekében, hogy a megfelelő zavarótöltetek és fenyegetettségi információk legyenek a következő feladatok előtt betöltve az AMPS-be.

Az AMPS az alábbi alrendszerekből áll [5]:

- MILDS²⁶ 4 db ultraviola tartományú érzékelő (lásd 6. ábra); amelyek a helikopter körül horizontálisan 360°-os, vertikálisan ±45°-os lefedettséget biztosítanak. A MILDS ultraibolya tartományban működik, ami lehetővé teszi, szemben a hagyományos infravörös érzékelőkkel, hogy a Nap és egyéb természetes infravörös jelforrások ne zavarják meg a riasztás hatékonyságát. A MILDS az indított rakéták hajtóműveiből kiáramló lángcsóvát és forró égéstermékeket érzékeli. Gyártója a Hensoldt a széleskörűen elterjedt amerikai AN/AAR-60 érzékelők licensze alapján;
- ACDU²⁷ jelfeldolgozó alrendszer, amely analizálja és osztályozza az érzékelt jeleket és figyelmeztető jelzéseket generál. Ezt az alrendszert AMPS-vezérlő és -kijelző rendszernek is nevezik, ez adódik abból, hogy ez az AMPS kezelőfelülete. Az ACDU-hoz rendelkezésre áll egy személyi számítógépen futtatható, úgynevezett bevetéstervező eszköz (*mission planning tool*), amely lehetővé teszi a rendszer földi előprogramozását és a legmegfelelőbb védekezési program feltöltését a rendszerbe egy USB-s memóriaegység (*USB-stick*) segítségével. A fenyegetettség irányának a helikopter helyzetéhez viszonyított meghatározására a rendszer jeleket kap a helikopter saját irányszög (AHRS²⁸)-rendszerétől;
- 4 db zavarótöltet-kivető.

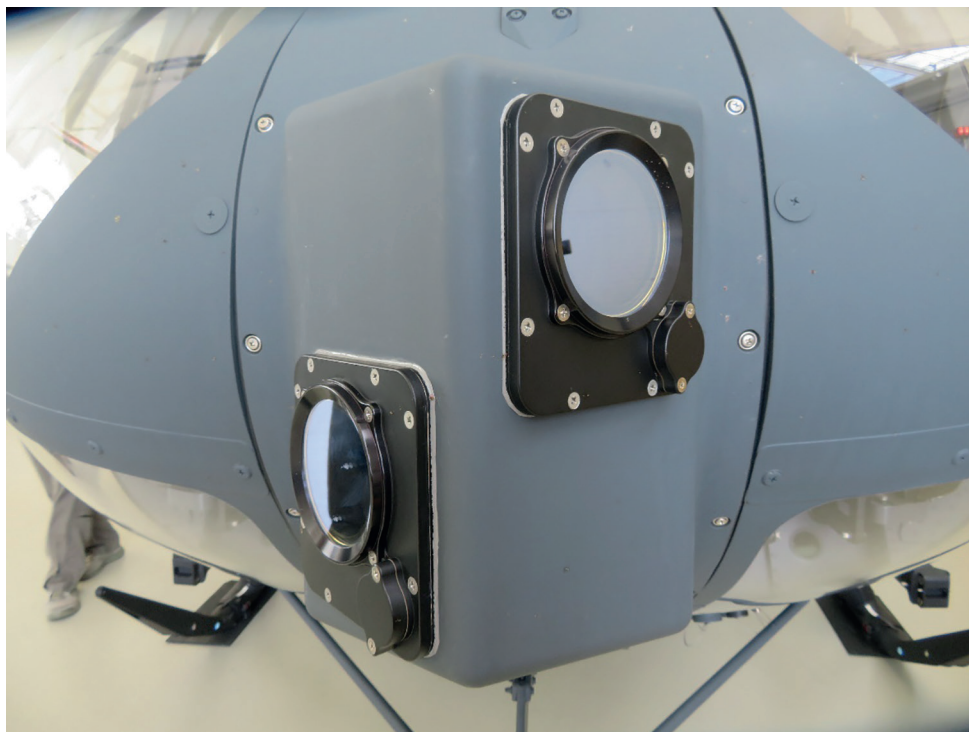
²⁵ AMPS – *Airborne Missile Protection System*, fedélzeti rakétavédelmi rendszer.

²⁶ MILDS – *Missile Launch Detection System*, rakétaindítást érzékelő rendszer.

²⁷ ACDU – *AMPS Control and Display Unit*, az önvédelmi rendszer vezérlő- és kijelzőegysége.

²⁸ AHRS – *Attitude & Heading Reference System*, helyzetet és repülési irányt meghatározó (irányszög) rendszer.

Az AMPS-rendszer a jelenlegi konfigurációjában a H145M helikoptereken csak ultraviola tartományú érzékelőkkel rendelkezik, azonban a képességei bővíthetők lennének radar- és lézer-besugárzásjelző beépítésével [5].



6. ábra

A rakétaindításra figyelmeztető AN/AAR-60 szenzorok a H145M orr-részen [6]

4. Befejezés

A *Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program* keretében beszerzett H145M helikopterek avionikai és fegyvertechnikai, valamint a kiterjedt önvédelmi rendszereik tekintetében óriási előrelépést jelentenek a korábbi szovjet/országi típusokkal szemben. Az EOS és a HMSD együttes alkalmazása kiterjeszti H145M fegyverrendszerének alkalmazási lehetőségeit, csökkenti a hajózó állomány leterheltségét a harctevékenység során, valamint hozzájárul a precíz megsemmisítési képesség eléréséhez [3], [8].

A HForce-rendszernek köszönhetően a fegyverrendszer moduláris, így az a helikopter kívánt konfigurációjának és a megsemmisítendő cél jellegének függvényében jól variálható. Ha rendszeresítik, akkor a Thales FZ275 LGR²⁹ lézerirányítású rakétái precíziós csapásmérési

²⁹ LGR – Laser Guided Rocket, lézerirányítású rakéta.

képességgel látják el a magyar Airbus forgószárnyasokat mindamellett, hogy kis robbanótöltetűeknek és nagy találati valószínűségüknek köszönhetően csökkentik a járulékos károkozás lehetőségét, ami kiemelten fontos és elérendő cél korunk aszimmetrikus hadviselésében (például Afganisztán, Irak). A Spike ER páncéltörő rakéták rendszerbe állításával pedig visszaállhat a Magyar Honvédség forgószárnyas páncéelhárító képessége is, ráadásul éjszaka, rossz látási viszonyok között is [3], [8].

Felhasznált irodalom

- [1] Airbus Helicopters Training Academy, *BK117 D-2 B1 Training Manual, Chapter 01 General Information*, 2018.02.
- [2] Flickr, *D-HMBE*. Airbus H145M Airbus Helicopters Demonstrator@Dönaauwörth EDPR. Online: www.flickr.com/photos/158464303@N02/50645922232/
- [3] Gervai B., Szilvássy L., „Az Airbus H145M helikopter fegyverzete,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 1. sz. pp. 161–174. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.11>
- [4] H145M – HForce Generic Weapon System – Introduction to HForce; Airbus H145M HForce Familiarization Course Training Manual; 00 - Generalities HFORCE Generic Weapon System; 1. kiadás 2020. január
- [5] H145M – HForce Generic Weapon System – Introduction to HForce; Electronic Warfare System – Counter-measures Airborne Missile Protection System Overview, Airbus H145M HForce Familiarization Course Training Manual, 1. kiadás 2020. január
- [6] Horváth Gergely szerkesztése saját fotógyűjteményéből
- [7] Réz L., „A helikopterképesség fejlesztésének aktuális kérdései,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 3. sz. pp. 77–88. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.3.460>
- [8] Szilvássy L., „Az Airbus H145M helikopter fegyverei I. – nemirányítható rakétarendszer,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 2. sz. pp. 15–29. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.2.2>
- [9] Thales Aerospace Blog, *Thales Scorpion Helmet Mounted Sight and Display System Selected by Airbus Helicopters for new weapons systems programme*. 2014. július 14. Online: <https://onboard.thalesgroup.com/thales-scorpion-helmet-mounted-sight-and-display-system-selected-by-airbus-helicopters-for-new-weapons-systems-programme/>
- [10] Wikipedia The Free Encyclopedia, *Eurocopter EC145*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_EC145

Weapon Systems of H145M Helicopter II – HForce System

In this article, the authors present the onboard weapon systems of the Airbus H145M lightweight multi-purpose helicopter. The features of the HForce are presented and discussed in detail and the various options are detailed. The electronic warfare equipment of the helicopter will also be introduced.

Keywords: Airbus H145M helicopter, onboard weapon, utility helicopter, Electronic Warfare System

Horváth Gergely százados, csoportparancsnok MH. 86. Szolnok Helikopter Bázis horvath.gergely@mil.hu orcid.org/0000-0002-1797-1482	Gergely Horváth Captain, Maintenance Team Leader HDF 86 Szolnok Helicopter Base horvath.gergely@mil.hu orcid.org/0000-0002-1797-1482
Dr. Szilvássy László ezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559	László Szilvássy, PhD Colonel, Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559



Zsolt Jurás

The Role of Drones in Enhancing Production Efficiency of Nuclear Facilities

The huge challenge faced by nuclear power generating facilities at the beginning of the 21st century is to keep producing safe electricity that can compete with the energy produced by other electricity generating sectors. One of the means of overcoming this challenge is related to the increase of generation efficiency, which, naturally, shall not be to the detriment of nuclear safety. This paper describes how the application of drones can contribute to the achievement of competitive operation. To do so, it is necessary to highlight the operation specifics of nuclear power plants and to review special circumstances arising from the application of this technology. In this paper, the reader can get acquainted with another specialised area of drone applications, the appearance of which was, basically, brought to life by an economic aspect.

Keywords: drone, maintenance, nuclear power plant, efficiency, inspection

1. Introduction

Nuclear power plants spread world-wide in the second half of the 20th century as an efficient and long-term option for electricity generation aimed at meeting the growing energy demand resulting from industrial development. The need for the peaceful use of nuclear energy appeared in the 1950s, and later on in the 1970s and 1980s – as a result of continuous improvements – 287 reactors were connected to the grid and continue operation at present. According to the IAEA report prepared in 2019, 65% of the operating reactor fleet are more than 30 years old, which poses another huge challenge to the nuclear industry. Safe and cost-efficient operation of nuclear reactors heading towards the end of their lifetime is of key importance to keep market positions and stay in the market. The number and total installed capacity of operating reactors is depicted in Figure 1 in relation to their age [1]. As one can see from this figure, the number of reactors that have been in operation for 30 years or even longer is rather high; however, these reactors, despite their age, are able of ensuring stable electricity generation for another 10 or 20 years.

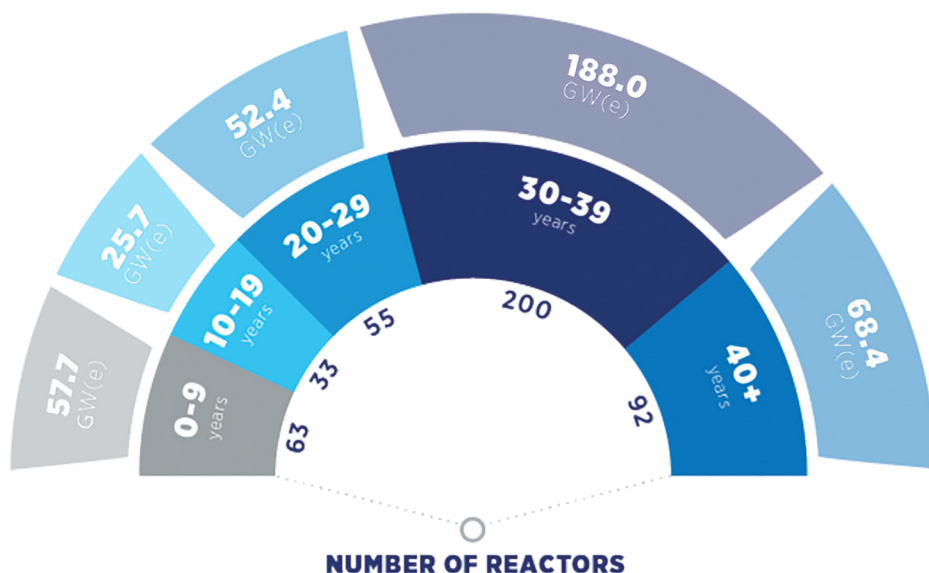


Figure 1.
Reactors in operation and capacity by age [1]

Nuclear reactors, based on their age and some other features like safety, economic efficiency and operability can be classified into so-called generations [2, p. 119]. The large majority of the currently operating power plant units belong to the 2nd generation; nuclear reactors of the 3rd generation are under construction now. It is not possible to draw a sharp line between generations, this differentiation is used rather to identify the eras in the development of nuclear energy and to specify the development level typical for that certain period. Based on the above said, it would seem to be evident that from all points of view it would be more reasonable to construct new units and nuclear power plants than to extend the lifetime of the old ones. However, one of the disadvantages of nuclear power plants in comparison with the low cost price is a very high historic cost and decades of return on investment. Needless to say, that lifetime extension is preceded by a lengthy licensing and review process; however, the cost of potential safety-enhancing actions defined based on the review results is negligible compared to the construction costs of a new power plant unit.

2. Specific features of nuclear power plants

Nuclear power plants generate thermal energy from the energy released in the process of nuclear fission during the controlled chain reaction. Due to its nature, the operation of nuclear power plants is a hazardous activity, as the process of energy generation is accompanied by continuous release of ionising radiation [2] [3]. As a result of the reduction of physiological effects of ionising radiation, implementation of nuclear safety as well as the applicability of the complete technology, it has become necessary to separate the sub-processes of energy

generation. During the development of nuclear reactor technologies, the primary circuit, i.e. heat circuit containing active coolant and secondary circuit transforming the generated thermal energy into electricity by means of its equipment, were designed. Boiling water reactors (BWR) and pressurised water reactors (PWR) belong to liquid-moderated, liquid-cooled reactor types. In order to provide a detailed description of the ways for enhancing operational efficiency at nuclear power plants, it is necessary to give an overview of their operation, placing a particular focus on several reactor types. To do so, I have selected two reactor types among nuclear power plants belonging to the second and third generation, which – taken together – account for 89.2% of the total electricity production by the nuclear power reactors being in operation as of today [1]. Figure 2 illustrates the distribution of electricity generation in 2019 with reference to nuclear reactor types.

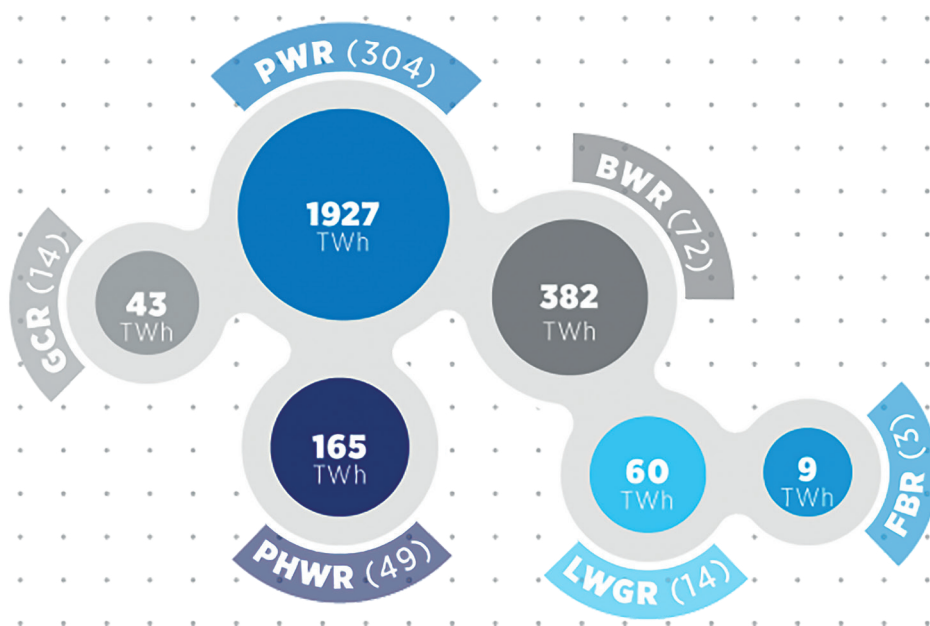
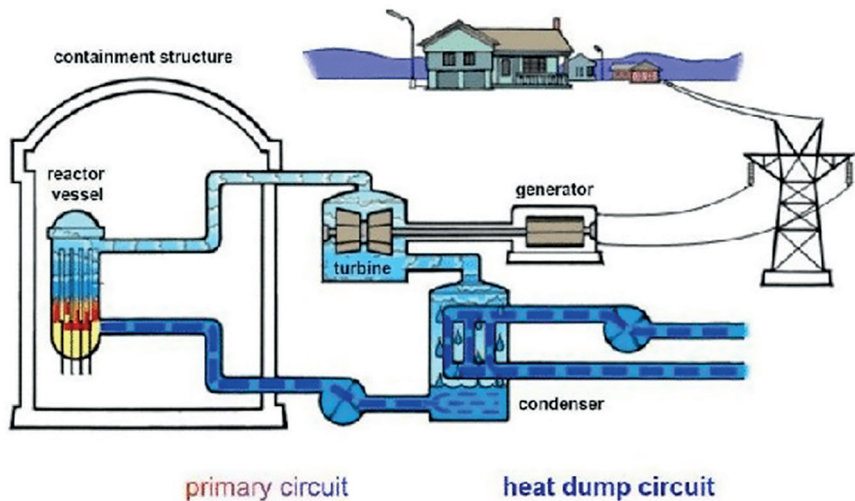


Figure 2.
Electricity supplied by type of reactors [1]

These two types are nothing else than the boiling water (BWR) and pressurised water (PWR) reactors. Despite the fact that in case of both reactor types light water plays the role of moderator and coolant, the principal difference between these types consists in the design of the primary and secondary circuits. While in case of pressurised water reactor types, the two closed thermal circuits are well separated and the primary coolant remains in the liquid state throughout the entire process, the boiling water reactors, in fact, comprise only one single circuit: the coolant passing through the reactor undergoes a state change and steam originating during this process drives the turbines. The process of operation described above is shown schematically in Figure 3.

Schematic: BWR power station



Schematic: PWR power station

Conventional technology except for the Nuclear Steam Supply System (NSSS) .

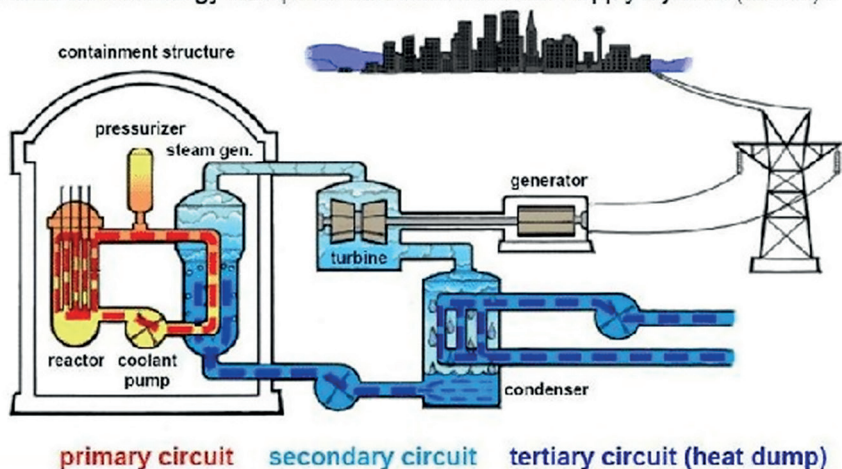


Figure 3.
Difference of principle between BWR and PWR [4, p. 4]

Fuel assemblies are able to provide an adequate amount of thermal energy throughout several fuel campaigns, as a result of the so-called continuous burn-up. To compensate for the fuel burn-up, operation campaigns should be interrupted from time to time to perform partial reloading of the reactor core and to load fresh fuel. During the refuelling there is a possibility of

carrying out maintenance activities on the equipment directly involved in energy generation, this period is called outage. The lengths of operating periods between the planned outages, as well as the outage durations differ depending on the reactor type and manufacturer: as a rule, the operation campaign lasts 1–2 years and the outage durations vary between 22 and 55 days. The planned outage durations depend on the scope of scheduled maintenance activities. There are some types of large equipment that require full-scope preventive maintenance (PM) only once every eight years. To summarise the above, it can be stated that:

- a large amount of energy can be generated by nuclear power plants in the continuous operation mode, thus they can be operated as a base power plant
- due to the physiological effects of ionising radiation, a part of the primary circuit, for example, its equipment located in the containment or protective building, cannot be approached during the entire campaign or can be accessible only for a very short period of time
- high-quality, precise and professional maintenance have to be performed within a short period of time

3. Efficiency-enhancing solutions

Several different options for enhancing efficiency can be considered in the operation of nuclear power plants. It should be emphasised that all reconstructions performed in the nuclear industry can be implemented only through the application of justified technical solutions and proven technologies. Reconstructions are preceded by the performance of impact assessments, technical justifications, planning, safety analysis and, finally, by licensing procedures.

3.1 Efficiency enhancement manifesting in operation

One of the most obvious solutions consists in the improvement of performance characteristics of the operated technology. Basically, there are two ways for increasing the amount of electricity generated, one of them is the reduction of technology-related losses, the other one is the increase of heat input on the primary side. In case of the Paks Nuclear Power Plant, this process has been carried out in 2 phases. The first step included the reduction of losses on the secondary side and implementation of several efficiency-enhancing investments, in the result of which the total installed capacity of two turbines was increased from the original 440 MW(e) to 470 MW(e). The second step included an 8% thermal power rate of the plant reactors. Upon the project completion, the total power uprate at Units 1–4 of Paks NPP achieved 240 MW(e). Practically, one could say that it looks as if a ninth turbine would have been put into operation. At the second phase, the specific cost price of 31.3 MHUF/MW of 136 MW(e) capacity increase was implemented, which is orders of magnitude less than the investment expenditures of any other electricity generation capacity [5].

3.2 Efficiency enhancement connected with maintenance activities

The goal of nuclear power plant operators is to maximise the economic efficiency of production along with emphasising the priority of safe electricity generation. The contribution to the achievement of this goal can be made by means of a certain increase in the length of operation campaigns. In case of many nuclear reactors worldwide, the transfer from the 15-month to the 18-month and from the 12-month to the 15-month fuel campaign was implemented in parallel with the lifetime extension program. Longer fuel campaigns can be achieved with the use of fuel assemblies with higher enrichments. This has been done in case of the Paks Nuclear Power Plant as well, the enrichment of certain fuel assemblies has been increased from 4.2% to 4.7%. As a result of the extended fuel campaigns, only 3 outages are required per year and 4 outages once per five years. Having completed the transfer to the 15-month fuel cycle at all the units, the number of outages was reduced by 26 reactor days on the average per annum, resulting in the annual efficiency increase of 2%. Another indirect economic result is connected with the fact that 3% less fuel is needed annually than before. Another possibility for efficiency enhancement is the development and optimisation of maintenance cycles. The on-line maintenance of safety systems allows to reduce the safety risk of the units without reducing their operational safety. Outage durations can be reduced, the availability factor of the nuclear power plant and, thus, the amount of electricity that can potentially be generated can increase. Typically, this can also mean reactor days that already reflects the cost-increasing potential in terms of which it is expedient to re-organise work processes.

3.3 Efficiency enhancement as a result of the drone application

On first reading, it may seem strange and difficult to imagine how a drone can contribute to the safety of a nuclear facility, more specifically of a nuclear power plant, and even increase its efficiency. Nowadays, the pace of technological development and progress is so high that "toys" appearing to be an ordinary, everyday thing in just a few moments can enter such important and hazardous operational areas that we have never ever dared to imagine. After the development of information technology, management and production technology has made it possible to produce and create computers in as small a size as possible, programming of small-sized aerial robotics is no longer an obstacle [6, p. 279]. Unmanned aerial vehicles collect information necessary for their operation from their everyday environment and use their sensors for position detection leading to the decision-making process; thereby, they are able to correct their operation, position and movement in a three-dimensional space. In addition to the autonomous operation mode, they can also fly with the use of human remote control, or possibly using the combination of these two depending on the circumstances [7, p. 197]. By further study of the professional literature and in-depth examination of the topic, one can come across the specific use of drones in connection with nuclear power plants; however, the application area reported in September last year by the International Security Journal had not been described in the earlier literature. The emergence of unmanned aerial vehicles opened up the opportunity for solving tasks that cannot be solved or are difficult to be solved by humans. While further reflecting on the possibilities of using drones, one can observe that these aerial vehicles are capable of performing various work processes, in order

to increase productivity, efficiency, or even safety [8, pp. 107–109]. At the Barakah Nuclear Power Plant, drones will be used to support the power plant safety and reliability [9]. Two out of four units in the project have already been granted the operating license. By its nature, due to the nuclear environment, only a special radiation-immune drone can be used for this purpose. One of such collision-resilient and radiation-immune drone types is Flyability Elios 2. Successful test flights have already been conducted at some of the U.S. nuclear power plants and their use has already been approved at several power plants.

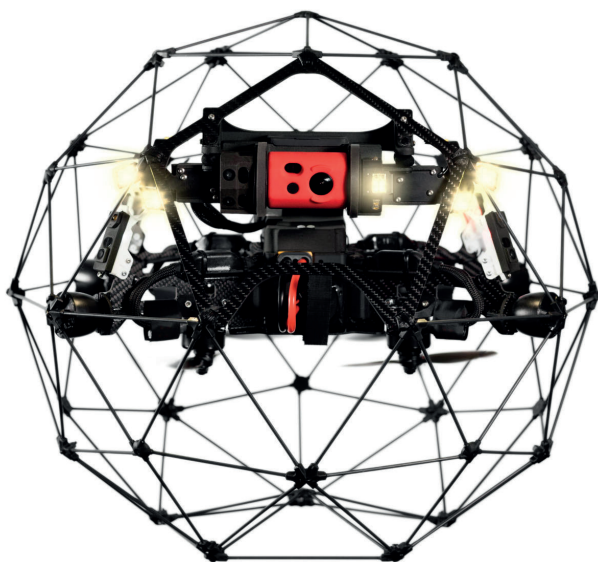


Figure 5.
Elios2 Indoor drone [10]

Such aerial vehicles were not yet available to nuclear power plant operators in December 2014. On 19 December 2014, an unidentified leak was detected at one of the units of one of the U.S. plants. In the course of the first walk-downs in the containment, the potential location of this leak was narrowed to one of the primary loops. Due to the high radiation exposure rate in the concerned area, performance of a more detailed search was not possible. When the initial leak rate of 0.11–0.15 litres/minute increased to 0.19 litres/minute, the decision was made on cutting back the reactor power to 30% in order to lower the radiation exposure rate for the performance of a more detailed examination. On 22 December 2014, the personnel managed to identify the leak location at the discharge flange of the primary loop, on a non-isolated pipeline section. To eliminate the problem, the plant personnel had to shut down the unit, which led to a significant loss of production due to an 11-day long unplanned outage. The detection and elimination of the leak in the above-mentioned case could have been performed much more efficiently with the deployment of Elios 2. The time elapsed between the leak detection and precise identification of its location could have been reduced from 72 hours to 20–30 minutes during the first walk-down and by conducting visual inspection with the use of a drone equipped with a normal and thermal camera, even though

the primary circuit piping is thermally insulated. Based on the image cut from a video made on the basis of the 2018 study report published on the manufacturer's website, one can clearly see the leak in a thermally insulated pipeline.



Figure 6.
Thermal camera image showing a pipeline leak [11]

Referring to the similarity of these two failures and taking into account the applied inspection method (visual examination), it can be stated that the failure in question can be identified with high probability and high repeatability by using a drone. In view of the above, the economic loss resulting from the time spent on the identification of failure location can be quantified and calculated as follows. One thing is for certain: the unit operated at 30% of its rated power during 3 days that elapsed between the problem detection and identification of the leak location. The rated power of the considered power plant unit is 1,000 MW(e); therefore, the resulting production loss for this time accounted for 50,400 MWh. Correspondingly, in terms of money, the loss accounted for at least \$ 6 million at the production cost of 0.12 cents per kWh applicable at that time. The extent of failure occurred in the technology would not have required reactor power cutback or shutdown of the reactor if the leak could have been monitored on a continuous basis. In practice, it means that – while maintaining the production – it would have been possible to get properly prepared for the failure repair and to carry out in parallel all necessary licensing procedures at the nuclear regulator. Even in case of assuming the worst sequence of events, an additional 72-hour loss of production could have been avoided. Referring to the aggregated amount of financial loss, it can be stated that the profit deficit originating from the 12 million USD production loss can be avoided in case of utilising a special drone. This technology was not yet available at the time of the above-mentioned event; however, due to the accelerated development in special areas of

application occurred during the recent years, some nuclear power plants are already using a part of radiation-immune and collision-resilient drone technologies.

4. Summary

This paper describes several options aimed at addressing challenges faced by the nuclear power plants in the 21st century. In my opinion, nuclear-based electricity generation will continue to play a key role for at least another 50 years. Rapidly growing energy demand – taking into consideration the expected boost in electric auto industry – can be met only by the energy system capable of producing large quantities of electricity in a carbon-free way and on a continuous basis. Electricity generated by nuclear power plays a key role in this energy mix. In this paper, possible solutions for enhancing efficiency are outlined through the presentation of the specifics of nuclear power plants. To sum up, it can be stated that the cost of investments required for efficiency enhancement of the facility is negligible compared to the construction costs of a new nuclear power plant. In addition to the improvement of operation and maintenance processes, it is demonstrated by means of a case study that several million-dollar losses can be prevented by utilising the drone technology. Along with the economic advantages, the application of this technology offers additional positive benefits in terms of radiation protection and waste management. From my point of view, it will not take much time for the developers to start considering the development of drones applicable for online primary circuit monitoring. In the current era of technical and technological revolution, these aerial vehicles play an important role in the military, civilian and energy sectors. This multi-purpose, cutting edge aerial vehicle can be used for various types of surveillance, detection and even intervention tasks, as nowadays there are numerous specific needs for aerial robots to perform tasks that are considered dangerous [12, p. 115–119]. Upon the development of an automatically re-charged drone that is capable to depart from and return to the charging station, this device would be able to fly along the service route and perform a visual inspection without human control. This would result in a further enhancement of the nuclear power plant efficiency.

References

- [1] M. M. Gospodarczyk and M. Nari Fisher, 'IAEA Releases 2019 Data on Nuclear Power Plants Operating Experience', 25 June 2020. Online: www.iaea.org/newscenter/news/iaea-releases-2019-data-on-nuclear-power-plants-operating-experience
- [2] I. Vidovszky, 'A jövő atomerőművei'. *Fizikai Szemle*, Vol. 55, no 4. pp. 118–122. 2005. Online: <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0504/Vidovszkyl.pdf>
- [3] K. Radnóti and M. Király, 'Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük'. *Nukleon*, Vol. 8, no 177. pp. 1–13. 2015. Online: https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/8_1_177_Radnoti_0.pdf
- [4] R. Mougnot and H. Hannu, 'Microstructures of nickel-base alloy dissimilar metal welds'. *Aalto University publication series Science + Technology*, no 5. p. 178. 2013.

- [5] L. Szőke and L. Hadnagy, 'A teljesítménynövelés megvalósítása a paksi atomerőműben'. *Nukleon*, Vol. 4, no 3. pp. 1–4. 2011.
- [6] G. Major, 'Does an Autonomous Drone Return Home at all Time?' *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 30, no 2. pp. 275–284. 2018.
- [7] M. Palik, G. Major and B. Kiss, 'Migration from Bird's Eye View'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 29, no 3. pp. 189–202. 2017.
- [8] L. Gajdács and G. Major, 'Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén' [Risks of UAV Application in the Field of Security]. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 30, no 2. pp. 101–112. 2018.
- [9] International Security Journal, 'Falcon Eye drones utilised to protect Abu Dhabi Nuclear Power Plant', s. a. Online: <https://internationalsecurityjournal.com/drones-utilised-to-protect-abu-dhabi-nuclear-power-plant/>
- [10] Flyability Elios2 Indoor drone. Online: www.flyability.com/hs-fs/hubfs/drone-newsletter-transp-1.png?width=461&name=drone-newsletter-transp-1.png
- [11] Drones in Power Generation: How Exelon Uses Drones to Improve Safety, Save Downtimes, and Save Money screenshot by 15 min. 00 sec. Online: www.youtube.com/watch?v=7S4fKtclFLw&t=740s
- [12] G. Major, 'A pilóta nélküli légitármű rendszerek nemzetbiztonságicélú felhasználásával kapcsolatos kutatások'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 27, no 1. pp. 115–119. 2015.

A drónok szerepe a nukleáris létesítmények termelési hatékonyságának növelésében

A 21. század elején a nukleárisenergia-termelő létesítmények óriási kihívása, hogy továbbra is biztonságosan és az egyéb villamosenergia-termelő szektorokkal szemben versenyképes energiát állítsanak elő. A kihívás leküzdésének egyik eszköze a termelési hatékonyság növelésében rejlik, amely természetesen nem mehet a nukleáris biztonság rovására. Az alábbi publikációban bemutatom, hogy a drónok alkalmazása hogyan járulhat hozzá a versenyképes üzemeltetés megvalósításához. Ehhez szükséges rávilágítani az atomerőművek üzemeltetésének sajátosságaira és a technológia alkalmazásából származó speciális körülményeire. A cikket keresztül az olvasó egy újabb speciális drónalkalmazási területet ismerhet meg, amelyet egy gazdasági szempont hívott életre.

Kulcsszavak: drón, karbantartás, atomerőmű, hatékonyság, ellenőrzés

Jurás Zsolt, MSc doktori hallgató Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola zsoltjuras@gmail.com orcid.org/0000-0003-4670-9325	Zsolt Jurás, MSc PhD student Óbuda University Doctoral School on Safety and Security Sciences zsoltjuras@gmail.com orcid.org/0000-0003-4670-9325
--	--

Estók Sándor

Az űrhaderő és az űrstratégia a többpólusú világban

Donald Trump, az Amerikai Egyesült Államok előző elnöke regnálása második évében döntött az űrhaderő megalakításáról, és elrendelte az űrstratégia megalkotását, struktúrájának kialakítását, rendszerbe állítását. Elődje, Barack Obama nem fordított erre gondot, és nem vállalta a döntés felelősségét az új űrfegyvernem és annak stratégiája kialakítása érdekében. Ugyanakkor közel tíz évig folyt a vita, hogyan lehet ezt a nemzetbiztonsági feladatot megoldani. A változó, újra többpólusú világban mindegyik globális hatalom rendelkezett már űrerővel, csak az USA nem. A lemaradás megszüntetésére elnöki rendelet alapján elkezdődött a hatodik fegyvernem rendszerbe állítása, így 2018 nyarának végére már körvonalazódott az űrhaderő és az űrstratégia kialakítása. A rivális Oroszország több mint fél évszázada jelen van az űrben. Közben átélt egy hidegháborús időszakot és az 1991 és 2007 közötti években egy nagy gazdasági és politikai válságot is. Mindezek ellenére a lehetőségei szerint fenntartotta érdekeinek védelmét a nehéz időkben is. Kína szinte nulláról kezdte a feladatai megvalósítását ahhoz, hogy jelen legyen az űrben, és komolyan vegyék erőfeszítéseit. Az eltelt 26 év után ezt már senki nem kérdőjelezi meg.

Kulcsszavak: űrstratégia, űrhaderő, világűr, űrpolitika, űrállomás

„Lesz légierőnk, és lesz űrhaderőnk is, különállóak,
de egyenrangúak. Ez már valami!”
Donald Trump

1. Bevezető gondolatok

A stratégia már az ókori hadviselésben sok évszázados háborús tapasztalatból származó katonai elmélet volt, amelyet az adott kor hadvezérei, politikusai formáltak a háború céljainak eldöntése érdekében. Az idők folyamán tapasztalataikat összegyűjtötték, azokból a következtetéseket levonták, és új stratégiát alkottak. A 20. század közepén a technika, a tudás, az új lehetőségek, a védelmi és nagyhatalmi törekvések, új hadviselés, haderőnemek és stratégiák megalkotását emelték a kor színvonalának csúcsára [18].

A katonai stratégia teljes egészében a politikának van alárendelve. Napjainkban is az határozza meg céljait, feladatai jellegét és általános irányultságát. Mindenkor az államok törekvéseit szolgálta, hogy a fegyveres erőiket és eszközeiket miként tudják alkalmazni politikai céljaik elérése érdekében [9].

Az űrerő, űrstratégia a 21. század első évtizedének kifejezései, amelyek előrevetítik azt a lehetőséget, hogy a jövőben a világűr is lehet háború helyszíne. A mai napig senki nem nevesítette még a vélt vagy valós ellenfeleket. Az is igaz, hogy az újra többpólusú világunk globális államai nem harcolni mennének az űrbe, inkább a Hold ásványkincseiért folyik a küzdelem, amelyek a Földre szállítva világunk legdrágább ásványai lehetnek.

A kínaiak már 1992-től építgetik lopakodó stratégiájukat. Az űrben megtervezett tevékenységüket lépésről lépésre következetesen viszik véghez. Napjainkra már a negyedik űrstratégiájukat és űrpolitikájukat valósították meg.

Oroszországnak már a hidegháború éveiben is volt rakétaarzenálja, továbbá kiképzett űrhajós- és kiszolgáló, támogató szakmai csapatai, bajkonuri rakétaindító-állása, irányító-vezető rendszerek álltak rendelkezésükre. Mindeközben végig nyitottak voltak technikai és tudományos kutatások folytatására.

A megfelelő űrstratégia kialakítása nem csak a versenyképesség fenntartása miatt létszükséglet. Egyelőre kevés ismerettel rendelkezünk a Naprendszerben vagy azon túl ránk leselkedő veszélyekről, amelyek lehetnek idegen erők és űreszközök vagy egy végzetes pályán közelgő aszteroida. Ezek mind olyan tényezők, amelyek szükség esetén megkívánhatják, hogy a Föld nagyhatalmai bevessék űrerejük [15].

2. Az űrstratégiát befolyásoló történelmi események

A 20. század ötvenes éveiben a Szputnyik-1 műhold indítása (1957. október 4., Bajkonur) az űrkorszak [26] nyitányaként került be a történelemkönyvek oldalaira. Válaszul, 1958. január 31-én az amerikaiak elindították első műholdjukat, az Explorer-1-et, amellyel megkezdődött a két ország közti űrverseny. Mindez Dwight Eisenhower hivatali idejére esett, aki még ebben az évben megalapította a NASA¹-t. A következő lépcsőfok az oroszok részéről Gagarin űrrepülése volt, amelyre válaszul hat héttel később, az akkori amerikai elnök, J. F. Kennedy (1961–1963) Kongresszusban mondott beszédében 1961. május 25-én meghirdette az Apollo-programot. A holdra szállás a tervezettek szerint megvalósult, de az elnök azt már nem érthette meg [6].

A 21. század első évtizedében a stratégiaalkotás területén változásokat hozott a világrend átalakulása, amely szinte minden globális szereplőt érintett valamilyen szinten. Más értelmezést kapott a katonai stratégia, a hadászat fogalma, újak születtek, mások eltűntek a múlt merevvé vált homályában. Előtérbe kerültek a hadászati szövetségek, a nemzeti fegyveres erők a fegyveres küzdelemben, békeműveletekben. A kifejlesztett technológiák és eszközök új alkalmazást honosítottak meg. A nemzeti és szövetségi stratégiai célok megvalósítása érdekében a katonai stratégia, a hadászat, az állami vezetés, a szövetségi irányítás, a parancsnokságok és vezérkarok tevékenységének megnyilvánulása révén új struktúrák jöttek létre, úgymint űrhaderő és vele együtt az űrstratégia. A világ újra többpólusává vált, az Amerikai Egyesült Államok és Oroszország mellett Kína, India és más feltörekvő államok is fontos szerepet töltenek be.

¹ *National Aeronautics and Space Administration*, Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal.

2.1. A demokráciáról Amerikában

Alexis de Tocqueville több mint másfél száz évvel ezelőtt *A demokráciáról Amerikában* című könyvében igen merészen tűnő mondatokat tett közzé, miszerint az Amerikai Egyesült Államok és Oroszország lesz idővel a világ két leghatalmasabb nemzete.

„Jelenleg két nagy nép van a Földön az oroszok és az angol-amerikaiak [...] az amerikai a természet ellenállását győzi le [...] az oroszok az ellenfelei embereit. Az első a vadonnal harcol, az utóbbi a civilizációk ellen. Az elsőt a szabadság vezérli, az utóbbit a szolgaság. Mégis a gondviselés titkos előrelátása folytán arra hivatottak, hogy egy nap a világ felének a sorsát kezükbe vegyék” [16, p. 13].

Tocqueville látnoki szavai a legújabb kori Róma és Karthágó párviadaláról 1945-re igazolódtak be. Amikor az Elba menti Torgaunál az amerikai és az orosz katonák összetalálkoztak, kétségkívül világtörténelmi jelentőségű esemény történt, új korszak kezdődött. Lehetséges, hogy napjainkban szintén egy új korszakváltás veheti kezdetét. A Holdon a közeli 5 éven belül megismétlődhet az USA–Oroszország-találkozó, azzal a különbséggel, hogy ehhez Kína is társul. A helyzet nem a véletlenek összjátéka által determinált találkozó. A Hold kincseinek, nyersanyagainak kibányászása már elkezdődött. Ez a holdbányász-találkozó világtörténelmi eseménynek számít majd.

2004-ben újabb löketet adott az űrtechnológia fejlődésének George W. Bush bejelentése az amerikai űrprogram átszervezésére irányuló terveiről. Elképzelése az volt, hogy az űrrepülőgépek (space shuttle) működését 2010-re felfüggesztik, helyettük 2008-tól külön program indul a Hold kutatására, először robotokkal, majd 2015 és 2020 között emberekkel. Tervei közt szerepelt a NASA teljes átszervezése és költségvetésének 1 milliárd dollárral való emelése. 2006-ra körvonalazódtak a holdexpedícióval kapcsolatos elképzelések, amelynek időpontját 2020-ra tűzték ki. A megvalósulást segítő előkészületi munkákat automata szondákkal végeznék, amelyekkel megcéloznák a Hold déli sarkát is. Az ismételt holdutazás megvalósulása után, a következő évtizedben célul tűzték ki a marsutazás előkészítését is. Mindezen események a magánszektor szerepének fokozását ösztönözték.

Bush elnök víziója lényegében az volt, hogy folytatja az Apollo-programban végzett felfedező repüléseket a Naprendszerben, és az amerikai űrprogram visszaszerzi tekintélyét, támogatottságát és elismertségét. Az új nemzetbiztonsági direktíva előrevetítette az amerikai űrhadviselés eddigi politikájának megváltozását. Mindez még a kihirdetés előtti évben volt [17].

Oroszországot természetesen aggasztották ezek a törekvések. A *Rossziszskaja Gazeta* című lap is cikket közölt e témában 2005. május 25-én. Az orosz katonai szóvivő nyilatkozatában kijelentette, nagy nyugtalanságot keltenek az amerikai űrfegyverkezésről szóló hírek, amelyek különösképpen a rakétaelhárító fegyverek telepítéséről szólnak [20].

Az űrstratégia kifejezést nem régen ismerte meg a világ. Katonai megfogalmazása a 21. század első évtizedében jelent meg, amikor 2007-ben a kínai űrhaderő szándékosan lelőtte az űrpályán keringő saját időjárás-figyelő műholdját. Ez a lépés bár jelzésértékű, de szándékossága miatt figyelmeztetésnek vehető. Az esemény széles skálán értelmezhető, nem kizárható, hogy az űrkonfliktusok kezdetének első mérőföldköve volt, amelynek hosszú távú következményei egyelőre kiszámíthatatlanok. Az amerikai felelősen gondolkodókat viszont hozzásegítette ahhoz, hogy 2007-ben letegyék voksukat az űrhaderő létrehozása mellett.

Amerikai politikai és katonai körökben elkezdődött egy nagy közös vita, és ezzel együtt stratégiai gondolkodás a jövőt illetően. Igen hosszú időn át nem találtak megoldást. Nem

volt sem űrhaderő, sem űrstratégia. Több mint tíz év telt el így, viszont elmondható, hogy szerencsés ez az időszak, mivel az űrtereken béke volt. Nem történt olyan esemény, amely okot adott volna az űrháborúra.

A csendet Donald Trump amerikai elnök törte meg, aki a megválasztását követő évben, 2018-ban bejelentette, hogy különálló űrhaderőt kíván felállítani. Az elnöki bejelentés után az átfogó vita lecsendesedett, és több kérdésben megfogalmazták, hogy a potenciális ellenség milyen veszélyt jelent. Felvetődött, hogy az Egyesült Államok készen áll-e egy esetleges űrháborúra. Mi lenne a küldetése az Egyesült Államok Űrhaderejének?

Mindezekre válaszul az elnök elmondta, hogy „[l]esz légierőnk, és lesz űrhaderőnk is. Különállóak, de egyenrangúak. Ez már valami.” Trump elnök kiadott utasítása: „Ezzel elrendelem, hogy a Védelmi Minisztérium és a Pentagon azonnal kezdje meg a szükséges intézkedéseket az Űrhaderő létrehozásához, amely a fegyveres erők hatodik ága lesz” [5]. A Pentagon arra figyelmeztetett, hogy az USA nem áll készen az űrháborúra. Ezzel szemben Oroszország és Kína, a két űrnagyhatalom, már műholdak elpusztítására is alkalmas fegyvereket fejlesztett ki. Ezek képesek olyan űrhaderőt mozgósítani, amelyek hátráltatná az Egyesült Államokat egy esetleges űrháború esetén.

Az űrhaderő elsődleges küldetése, hogy megvédje az amerikai űrbe telepített eszközöket ellenséges támadásnál, és csapást mérjen az ellenséges erőkre és eszközökre provokáció, veszélyeztetés és az objektumai biztonságának megtámadása esetén. Az űrbe telepített eszközöknek az ellenség megsemmisítésén kívül más küldetése is lehet békeidőben, például az űrszemét összegyűjtése, munkájuk így megkönnyítheti a Föld körüli navigációt. Űríták esetén segíthetnek betartatni a törvényeket. Védelmet nyújthatnak még a mélyűrből érkező, az egész emberi fajt érintő fenyegetések ellen is. A dinoszauruszok kipusztulása a mélyűrből egy aszteroida becsapódása révén következett be 65 millió évvel ezelőtt a Yucatán térségében. Hasonló jelenség az emberi faj végét is okozhatná [21].

Megalakult az önálló parancsnoksággal és az egyesített vezérkari főnök által felügyelt űrhaderő, amely független a USA Force-tól. Az új fegyvernem létrehozásához a Kongresszus közreműködése is szükséges, ugyanakkor a jelentős kiadások és a bürokrácia fokozása miatt a Honvédelmi Minisztérium nem üdvözlö a döntést. Az is felmerülő kérdés, hogy az USA felkészült-e arra, hogy megvédje érdekeit a Föld keringési pályáján és azon kívül. Ezek mellett aggasztó, hogy Kína talán képes a Világűr szerződés [27] megsértésére és szenzorok, műholdellenes fegyverek telepítésére a Holdon.

Az amerikai űrhaderő biztosíthatja a nemzetbiztonságot, de szükséges lenne párbeszédet folytatni Kínával, Indiával, Oroszországgal és másokkal. Az űrhaderő létezése felerősítheti a fenyegetéseket, viszont hozzájárul az Amerikai Egyesült Államok nemzetbiztonságához. Mindhárom nagyhatalom űrstratégiájának középpontjában napjainkban a Hold áll. Egy fontos kérdés fogalmazható meg, amely megbonthatja a békés holdra szállást: miként osztják fel a Holdat egymás között. Ennek tisztázására a globális szereplőknek szerződéses jogviszonyban kell lenniük egymással, és úgy belefogni a kidolgozott stratégiájukba.

2.2. Kínai űrstratégia és űrerő

Kína csendes űrstratégiát jelentett be hivatalosan a múlt század kilencvenes éveinek elején, miszerint ők is szeretnék valamikor egy űrrepülőgépet. Mivel Kína gazdaságilag fejletlen,

és nincs emberes űrrepülésben múltja, senki nem vette komolyan a bejelentést. Még kínai űrhajós sem járt a világűrben.

1992-től elindult az űrprogramjuk. Az évezred végén aztán meglepte a világot, hogy a Szencsou-1 űrhajó sikerrel elindult és személyzet nélkül visszatért a Földre. 2003 őszére a Szencsou-5 emberes űrrepülését tűzték ki. A kínai űrprogram vezetője bejelentette, valamikor emberrel is szeretnének leszállni a Holdra. Tíz éven belül alaposan felderítik kísérőnket – a hírt kétkedve fogadták a tanácskozás résztvevői, de az eddig elért eredmények és az ambiciózus tervek után fokozott figyelemmel kísérték a kínaiak fejlődését. Az első űrhajójuk a Szencsou-5 2003. október 15-én emelkedett Föld körüli pályára, fedélzetén Jang Li-vej űrhajóssal [24]. Ezzel elindult a kínai űrstratégia, és azóta is teljes erővel halad céljai megvalósítása felé.

Sikeresen és kitartóan tervezik és hajtják végre országuk űrstratégiáját és űrpolitikáját a fehér könyvben rögzítettek alapján. A negyedik szakaszt 2016. december 27-én hirdették ki. A Hosszú Menetelés hordozórakétái négy generációjának 17 változatát fejlesztették ki. Így alacsony, közepes és magas pályákra egyaránt eljutnak. 2016 végéig 244 rakétaindítást teljesítettek, 96%-os sikerességi mutatóval. A LM-5 rakéta 14 t-t tud felvinni. A következő években fejezik be az LM-9 nehézrakéta megépítését, amelynek segítségével már 140 t terhet tudnak feljuttatni. A tudományos kutatások közül kiemelkedik a sötét anyag kutatása, súlytalansági kísérletek kutatása, a kvantumkommunikáció kérdése, napfizikai műhold, és a vízkörforgásvizsgáló WCOM² [7]. Az űrtevékenység meghatározó személyiségei nyilvánosságra hozták a Hold és a Mars kutatási programján kívül a személyzetes űrrepülési programot. A jövőben a hordozórakéta-fejlesztést veszik számba. A Hold-program kerül a jövőben előtérbe, 2030-ra a kínaiak is eljuthatnak a Holdra. A Mars kutatási terv alapján megkezdtek az első kínai orbiter, a Marslander és Mars-rover tervezését, továbbá fejlesztik a Hosszú Menetelés-5 rakétát [1, 42–43].

A kínaiak már elkezdtek a Hold feltérképezését, kialakították ehhez a szükséges ember- és teherszállító űrhajókat. Űrállomást építettek, már a második megvalósításánál tartanak. Kiképzett űrhajósaik vannak. A Holdra leszálló űrszondát küldtek a Szivárvány-öbölbe a róla legördülő Yutu (holdi nyúl) roverrel (2013. december 14.). A Hold ásványkincseit 100 m mélyen képesek meghatározni, és az elkövetkezendő időkben ezzel az eszközzel ellenőrzik az ásványokat és minősítik azokat. Mindezek után kezdik meg a bányászati terveik megvalósítását a kijelölt telephelyeken vagy gyártelepeken. Amennyiben űrstratégiájuk sikerrel jár, akkor több évtizedre is a Hold bányászai lehetnek.

A korábban személyzettel végrehajtott kínai űrrepüléseket teljesen logikus, világos és egy irányba mutató lépések sorozataként lehet jellemezni. Kína számára egy önálló űrállomás hosszú távú jelenlétet teremthet a Föld körüli pályán. Viszont ennek vannak járulékos szükségesszerű lépései, űrhajóépítés és manőverezőképesség vizsgálata, űrszkafander fejlesztése és ellenőrzése, kísérleti űrállomás modul és a dokkolási technikáinak kidolgozása és hosszabb távú – maximum kéthetes – űrrepülések végrehajtása.

Szükséges egy folyamatosan használható modulűrállomás-rendszer kialakítása, valamint:

- a korábban tesztelt űrhajók, szkafanderek nagy számban álljanak rendelkezésre;
- létre kell hozni egy megbízható és megfelelő kapacitású teherűrhajót;
- a korlátozott méretű, Tienkung típusú keringő űrlabort, nagy tömegű és térfogatú

² Water Cycle Observation Mission.

- űrállomásmodulokkal kell felváltani;
- ki kell alakítani olyan összekapcsoló rendszert, amelyhez több irányból is csatlakozhat nehéz modul;

Kína ennek a feladatnak a befejezését 2018–2022 közötti időben tudja végrehajtani.

2.3. Oroszország űrhadereje és űrstratégiai célkitűzései

Oroszországban évtizedek óta létezik űrhaderő kiképzett űrhajósokkal és átgondolt űrstratégiával. Generációk óta hoznak létre űreszközöket és intézményeket a kiterjedt háborúk megakadályozására. Fegyveres erői az orosz államot fenyegető súlyos veszély esetén képesek megelőző csapást mérni – akár nukleáris eszközökkel is – az orosz állam érdekeinek védelme, a veszély elhárítása céljából. Sokak előtt ismert: „Oroszországnak a katonai biztonságát nem a háborúban kivívott győzelemmel, hanem megelőző nem katonai eszközökkel kell elsősorban biztosítani, az összes katonai, belügyi, határőr, diplomata és más fegyveres szervek erőinek és eszközeinek komplex alkalmazásával lehet és kell biztosítani” [3].

Ennek megfelelően fegyveres erők mindig készenlétben vannak az esetleges támadások elhárítására, agresszió visszaverésére, háborúk és fegyveres konfliktusok minden változata esetén pedig aktív katonai műveleteket hajtanak végre.

A hadsereg számára azt a feladatot határozták meg, hogy mind a jelen időszakban, mind a jövőben, békében és rendkívüli helyzetekben legyenek képesek fenntartani a hadászati visszatartás potenciáját. Az állandó készenlétű erők magasabb egységei legyenek képesek egyidejűleg két, bármilyen típusú fegyveres konfliktusban a feladatok végrehajtására.

Az Orosz Űrügynökség illetékesei bejelentették, hogy Oroszország 12 űrhajóst tervez a Holdra küldeni, hogy 2030-ra állandó bázist hozzon létre az égitesten. 2024-re tervezik egy olyan holdszonda indítását, amely felderítené a későbbi bányatelepek lehetséges helyszínét [8]. A Hold nyersanyagainak kibányászását előkészítő, az égitest természeti kincseinek kitermelését célzó 2 milliárd rubeles tervet tettek közé a kormányzati közbeszerzési honlapon. Ez a stratégiai vállalkozás több évtizedig is tarthat. Vlagyimir Putyin elnök szívesen látná országát újra űrnagyhatalomként [4].

„A Luna-25³ (Luna-Glob leszállóegység) az orosz Roscosmos holdi küldetése. A Hold déli pólusa közelében levő Boguslavsky-kráternél száll majd le. A Luna-Glob landerről Luna 25-re nevezték át, hogy hangsúlyozzák a szovjet Luna-program folytonosságát az 1970-es évektől, bár a Luna-Glob holdkutatási program része” [2]. A beruházás második fázisában, a 2020-as évek elejére tervezik a Luna-Resurs (a Luna 26) automatizált űrhajó megépítését. A tervek szerint az űrjármű a Hold körül kering majd 200 km-es magasságban egy éven át, és közben a Luna-25-ről érkező információkat gyűjti össze és továbbítja a Földre. A harmadik fázisban mélyfúrásra alkalmas landolóegységet küldenek a Hold déli sarkára. A negyedik fázisban a Luna-Grunt automatizált űrállomást állítják pályára, amely alkalmas talajminták vételére, és a Földre juttatáshoz szükséges berendezéseket is szállít. A folyamatokat az űrállomásról irányítják teljesen automatizáltan [19].

³ Luna 25 – Luna-Glob leszállóegység.

3. Már van konkurencia

A floridai központú Moon Express lehet az első magánvállalat, amely a Holdról és az aszteroidákról származó minták kereskedelmébe fog. A holdutakat is tervező amerikai cég a 2020-as évek elején váгна bele a bányászatba és a kitermelt anyagok kereskedelmébe, arra számítva, hogy a Holdról származó minták egy csapásra a Föld legértékesebb anyagává válnak, hatalmas profithoz juttatva az űrbányászokat. Több kínai startup cég gondolkodik hasonló profilban, de nemrég Luxemburg is az aszteroidákon található ásványok bányászatát tűzte ki célul [28].

3.1. Változás a STRATCOM-parancsnokság vezetésében és szemléletében

2018-ban, egy hónapokig tartó felülvizsgálat eredményeképpen, a Pentagon úgy döntött, hogy az USA stratégiai parancsnoksága kizárólag azon a titkosított kommunikációs rendszeren belül működhet, amelyen az elnök közvetlen kapcsolatban lehet a fegyveres erőkkkel egy esetleges nukleáris esemény során. Minderre azért volt szükség, mert a vizsgálat eredménye alapján az amerikai kommunikációs parancsnokság, irányítás és kommunikáció (NC3)⁴ nem tartozik egyetlen parancsnoki láncba sem, valamint a technológia is elavult, és nincs világos terv a modernizálásra [23]. A honvédelmi minisztérium azért rendelte el a felülvizsgálatot, mert az NC3-nak nem volt összefüggő vezetési struktúrája. A vizsgálatot követően az NC3 frissen kinevezett parancsnoka, E. Hyten arról nyilatkozott, sok időt szentelt az NC3 jövőtervezésének. John E. Hyten parancsok elmondása alapján James Mattis honvédelmi miniszternek az volt a szándéka, hogy az eddigi bizottságszerű struktúra helyett a STRATCOM⁵ alá tartozó NC3 egyetlen tiszt parancsnoksága alatt álljon.

A felülvizsgálat felhívja a figyelmet arra is, hogy azok a rendszerek, amelyek az 1970-es években a legmodernebb technológiának számítottak, elöregedtek, a 21. század új kihívásaival szemben már nem valószínű, hogy megállják a helyüket, főleg az űrből és a kibertérből érkező fenyegetések ellen. A rendszerek nagy része olyan technológia, amelyeket három évtizede nem modernizáltak, mint például a riasztó műholdak és radarok, kommunikációs műholdak, légi járművek, földi állomások, fix és mobil parancsnoki állások, és a nukleáris rendszerek irányító központjai. Nagyon fontos a titkosított nukleáris kommunikációs és rakétajelző műholdak biztonságának fenntartása, mivel ezeket a mindennapos katonai műveletek során is használják. Vannak köztük olyan műholdak, amelyeket nukleáris küldetésre rendeltek, vagy konvencionális és nukleáris küldetést is tudnak szolgálni. Hyten megjegyezte, az NC3 képes ellenállni a támadásoknak, bízik abban, hogy bármilyen kihívást kezelni tud, azonban 10 év múlva már nem biztos, hogy így lesz.

A fejlesztés alatt lévő nukleáris fegyverek egyszer működőképesek lesznek, mint például a B-21 bombázó, az új nagy hatótávolságú cirkáló rakéta, az új ICBM⁶ (interkontinentális rakéta)⁶ [22] és a Columbia-osztályú tengeralattjárók. Az új modern technológiákat szervesen hozzá kell kapcsolni az NC3-rendszerhez. Így egy modern, korszerű rendszert képezhetünk [12].

⁴ Nuclear Command, Control and Communications (NC3).

⁵ Strategic Command U.S.

⁶ Intercontinental Ballistic Missile – interkontinentális rakéta.

3.2. Az USA űrstratégiája stabil és megbízható

A légierő tábornoka, Hyten, aki a nukleáris arzenálért felel, a SpaceNews magazinnak nyilatkozott a világűrt érintő kérdésekben. „Nagyobb figyelmet kell fordítani az űrbéli rendszerek védelmére. Tavaly a Kongresszus törvényben fektette le, a világűrt kezeljük úgy, mint lehetséges háború színhelyét. Ehhez még tanulmányt is rendeltek, hogyan nézne ki egy jövőbeli, űrben zajló háború.”

Amikor az USA űrbéli sebezhetőségéről kérdezték, Hyten kijelentette, hogy „jelenleg nem vagyunk azok, és ennek így is kell maradnia, ehhez viszont gyorsan kell cselekedni. A fenyegetettségünkkel foglalkozni kell, és szerencsére ez meg is történik. A fegyveres erők főparancsnokának kulcsszerepe van. A határidők meghatározottak, elég szorosak, a hozzárendelt költségekkel gyorsabban tudunk előre lépni” [10]. Hosszú idő után került sor arra, hogy megnöveljék az erre szánt költségvetés összegét. A Honvédelmi Minisztérium rövid távú célja a hadászati űrprogramban az, hogy először 100 millió dollár alá vigye az indítás költségeit. Egyelőre ez még nem történt meg, de ebbe az irányba tartanak. Csökkenteniük kell a műholdak kifejlesztésének időtartamát 3–5 évre. Ezt még katonai téren nem sikerült elérni, de a kereskedelmi műholdak esetében már igen. Katonai környezetben nem megoldott a moduláris eszközökkel való feladatellátás. Jelenleg a legnagyobb nehézséget az integrált földi állomás kiépítése okozza.

Az űrstratégia mellé célszerűnek látom hozzárendelni az űrlogisztika stratégiáját, amely téralapú és kiterjesztett hálózatközpontú rendszerben működik. Információs, kommunikációs hálózatközpontú rendszerlogisztika-hálózat megteremtését javaslom [13], amelyekben összekapcsolják a földi állomásokat az űrben levő szükségletet igénylő állomásokkal. Továbbá a rendszereket, az információs elemeket, a szenzorokat, a döntési pontokat, a logisztikai támogató alrendszereket, hozzárendelve a logisztikai stratégiai vezetést, a támogató logisztikai alegységeket. A fizikai végrehajtás igénylőit, fogadóit és minden űrstratégiai szervezet elemeit érintően. Így a stratégia résztvevői felgyorsítják a biztonságos mindenoldalú támogatást. Szükségesnek látom a hálózatközpontú logisztikai rendszer [14] alkalmazását. Ezzel kiszámíthatóvá, egyértelművé válna minden stratégiai művelet az érintettek számára, legyen az az űrben, vagy az integrált földi támogató állomáson. A fentiek alkalmazása szerint nem kell dollármilliókat költeni minden egyes műhold földi rendszerére.

A katonai űrstratégia és az űrben folyó fegyveres harc műveleti tervei változtatást igényelnek. Át kell ültetni a földi műveleteket az űrbe, más körülmények közé, meg kell határozni pontosan, hogy milyen kiképzésre és felkészítésre lesz szükség. Az USA nukleáris modernizációját megpróbálják felgyorsítani, talán 2030-ra befejeződik. 1958 után 5 év alatt sikerült 800 interkontinentális ballisztikus rakétát építeni, most pedig 400 darab elkészítéséhez 15–20 évre van szükség. Azt hiszem, ezt sokkal gyorsabban is végre lehet hajtani [11].

Az űrhaderő stratégiáját, jellegét és tartalmát, a lehetséges fegyveres összecsapás-elemzésnek ismeretében kell meghatározni. Az űrháborúra már az űrhaderő alkalmazásának megtervezése időszakában készülni kell, a hadászati műveletek többváltozatú terveinek kidolgozásával. A 21. század első évtizedei azt mutatják, hogy egy sor megválaszolatlan kérdés vetődik fel úgy, mint a katonai űrstratégia képes-e megújulni, az új körülményekre kidolgozni az elméleti és gyakorlati kérdéseit? Ezek megvalósítása bonyolult szervezeti átalakításokat igényel. Összefogni, irányítani a különböző fegyvernemeknél, szárazföldi csapatoknál, haditengerészetnél és a légierőnél folyó űrtevékenységeket.

Az űrhaderő feladata, hogy hatótávolsága képességein belül megvédje az amerikai űrrendszereket az űrterekben, a Naprendszerben, valamint az aszteroidákon, a Föld légterében és a földi integrált bázisokon. Ki kell dolgozni az ismert földi ellenséggel szembeni fegyveres fellépést és annak végső megoldását. Építsenek ellenálló, többször felhasználható műholdakat, hordozó rakétákat. Mérjenek megelőző csapást a pusztító ellenséges műholderekre, fegyverekre, és semmisítsék meg őket, még azelőtt, hogy azok veszélyeztetnék a szolgálati helyeiket. Mindezek az intézkedések elrettentő hatással lehetnek a háború világűrben történő kirobbantásával szemben.

A jövő nem ismert. Az űrben lehetnek olyan helyzetek, amelyek ismeretlen eszközökkel, idegenekkel való találkozást eredményeznek. Ilyen esetekben törekedjenek fegyverhasználat nélküli megoldásra – amennyiben lehetséges –, erre a különleges találkozásra is készítsenek változatokat. Növelni kell az együttműködés hatékonyságát, a kommunikáció felgyorsítását, gyűjtését, feldolgozását. A múlt évtizedben megkezdődött a hálózat szétbontása. Ez arra hivatott, hogy kiszolgálja a katonai, politikai vezetést (az űrstratégia, űrhaderő, űrlogisztikai támogatás mindenoldalú infokommunikációs kapcsolatait), úgy, hogy szem előtt tartja a harcolók műveletképesség-alapú alkalmazását. A Nemzeti Katonai Stratégia az űrre is kiterjeszti az űrfegyvernem műveleteit és stratégiáját. Hat fegyvernemet szükséges összehangolni, amelyek különböző típusú szervezetek, fegyverzetek, haditechnikai eszközök egységes rendszerbe történő teljes integrációját jelentik. Korunk stratégiái új irányt vettek, a formai, tartalmi szempontjai megváltoztak. Nagy hatást gyakorol a kialakuló új folyamatokra a tudomány, a technika és a technológia fejlődése, de a szervezethez magas fokán is jelentősége van. A szuper technológiákkal foglalkozó cégek (Boeing, a General Dynamics, a Lockheed Martin, a Northon Textron és a United Technologies) a tudományos tehetségüket, fejlett műszaki képességüket, technológiai tudásukat, vállalkozói innovatív vezetésüket fektetik be az űrkutatási vállalkozásokba, iparágakba. Az USA-nak fel kell gyorsulni, hogy téralapú gazdasággá váljon, ne hagyatkozzon olyan iparágakra, amelyek a tömegpusztító fegyverek gyártásától függenek.

3.3. A védelmi stratégia céljai és lényegi kérdései

A hagyományos hadviselés ideje lejárt és a múlt század dimenziójában maradt. Egyre jobban előtérbe kerül a 21. századi védelmi stratégiai űrhadviselés, amelyben lényegi kérdés a távközlés, navigáció, felderítés, űrfegyverek és egyéb fegyvervédelmi rendszerek, valamint a nyilvános és titkos fejlesztések. Fontossá válnak a világűr adta új lehetőségek, követelmények, amelyek a katonai doktrínában öltöttek testet. Megváltoztak a technológiai követelmények, új képességeket állítanak a katonai és polgári szervezetek szolgálatába, mint például a navigáció, a távközlés, a meteorológia, a kémtevékenység vagy a felderítés.

A haditechnika új generációja mutatkozott be, és használata éles körülmények között vizsgázott az I. öbölháborúban. Az USA GPS-műholdas navigációs rendszerének alkalmazása kulcsfontosságú a lövedékek, rakéták célba juttatásában, de a szárazföldi, vízi és légi járművek helymeghatározásában is. A II. öbölháborúban a hadműveletekben a lövedékek, rakéták 70%-át irányították GPS segítségével a meghatározott helyre vagy célra. Ezáltal a pilóta nélküli felderítő repülőgépek, eszközök célravezetése, adatátviteli kapacitása megnövekedett.

Az amerikai hadsereg felismerte a saját űrtávközlési kapacitásának bővítésének fontosságát. Ennek kapcsán fejlesztte a Transformational Satellite Communications System (TSAT-)⁷ rendszert. Továbbfejlesztették a katonai műholdas távérzékelést, a nyomon követés bármilyen időjárási körülmények között megbízható legyen.

Fontos az USA területeinek védelme, a rakétaelhárító rendszerek modernizálása. Az infravörös megfigyelőrendszer fejlesztése sem hanyagolható el, amely már az űrben kipróbált és megbízhatóan vizsgázott [25]. Az amerikai nemzeti katonai stratégiában is hangsúlyozzák, hogy az ellenség feletti erőfölényt nem az erők és eszközök mennyiségével, hanem a szükséges körülmények megteremtésével kell létrehozni. Ennek érdekében az iraki hadműveletek utáni években elvégezték a fegyveres erők átalakítását hálózatközpontú hadviselésre alkalmas erővé.

Az amerikai katonai vezetés arra a következtetésre jutott, hogy a harci erők közötti együttműködés hatékonyságának kulcsa az információ gyűjtése, feldolgozása, majd a harcoló erőkhöz való szelektált és időbeni eljuttatása. Ennek érdekében a teljes körű információs hálózat szétbontakoztatása már néhány éve elkezdődött, amely háborús helyzetben kiszolgálja a politikai-katonai vezetést és a hadászati, hadművelleti, harcászati erőket és eszközöket, a fegyveres erőknek és különböző szervezeteknek, fegyverzeti és haditechnikai eszközöknek, biztosító, művelleti támogató erőknek és eszközöknek egységes rendszerbe történő teljes integrációjával. Ezeket a stratégiai elveket és célokat az űrstratégia kialakításában és végrehajtásában követelményeknek kell tekinteni.

A képességek közül kiemelem az expedíciós képességet, amely az amerikai fegyveres erők azon erőkitetését jelenti, hogy az űrben is létrehozott infrastruktúra nélkül is ki tud bontakozni a hadászati terveknek megfelelően. A hálózatközpontúság feltételezi [14] olyan infokommunikációs hálózat megteremtését, amelyben összekapcsolják az információs rendszereket, elemeket, forrásokat, döntési pontokat, a végrehajtó erőket és eszközöket. A résztvevők a hadművellet folyamatában értesítéseket kapnak a helyzetről, ez felgyorsítja az erők, fegyverrendszerek és eszközök irányítását és javítja a végrehajtó erők hatékonyságát, a hadműveletek és harctevékenységek összehangolását. Jelentős még az adaptációs képesség is, annak érdekében, hogy a csapatok erői, eszközei, csoportosításai gyorsan alkalmazkodjanak a mindenkoriban bekövetkezett változásokhoz, legyen az a világ bármely térségében, akár az űrben is. A csapatok, erők parancsnokai az ellenségnél hamarabb, pontosabb és teljesebb információhoz jussanak, azok alapján tudjanak helyes elhatározásokat hozni, azokat végre is tudják hajtani olyan gyorsasággal, amelyre a szemben álló fél nem lenne képes reagálni.

4. Befejezés

Az ezredfordulót követő években megváltozott a fegyveres erők stratégiája, struktúrája és szemlélete. A leglátványosabban a szárazföldi hadviselésben volt ez érzékelhető a II. öbölháborúban. A hálózatközpontú hadviselés még kísérleti szakaszában volt. Ennek ellenére az űrből vezérelt harckocsihadosztályok teljes vezetése megkapta az ellenséges harckocsik GPS-koordinátáit, a pontos helyzetét. Már csak a parancsnoknak kellett kiadni a tűzparancsot, és a meghatározott cél kiiktatása megtörtént. Így az Iraki Köztársasági Gárda hadosztály 2 óra alatt semmisült meg.

⁷ TSAT – *Transformational Satellite Communications System*.

Ez volt az első olyan együttműködés, ahol az űrpályán lévő műholdak és a harcoló csapatok között állandó és folyamatos, szelektált és interaktív kapcsolat volt a hálózatközpontú hadviselés kezdeti időszakában. Az iraki háború befejezését követően az USA fegyveres erőit átalakították a hálózatközpontú hadviselés követelményei szerinti eszközökkel és rendszerekkel, valamint a katonák kiképzésben részesültek a modern háború fegyveres megvívásának ismereteiből. Valószínűsítem, a Nemzeti Katonai Stratégia az űrre, az űrfegyvernem műveleteire, az űrerőkre és eszközökre is kiterjed. Ahhoz, hogy a nemzeti stratégia egységes legyen, hat fegyvernemet kell összekovácsolni, összehangolni és rendszerbe integrálni. Az amerikai katonai vezetés arra következtetésre jutott, hogy a harcok közötti együttműködés hatékonyságát, információk gyűjtését, feldolgozását, a harcolók erőkhöz való szelektált és időbeli eljuttatását, tökéletesíteni szükséges.

A globális információs hálózat szétbontakoztatása néhány éve működőképes. Kiszolgálja a katonai, politikai vezetést a hadászati, hadműveleti, harcászati erőket és eszközöket, valamint az űrbe telepített űreszközöket és az ott szolgálatot teljesítő személyeket. A Föld védelmének érdekében szükségesnek tartom, hogy kidolgozzanak egy szilárd, hosszú távú védelmi űrstratégiát. A védelmi rendszerben minden globális hatalom vegyen részt, vélt vagy valós sérelmet, önös érdeket félretéve, minél előbb közösen kezdjék meg élesíteni és végrehajtani a Föld védelmi űrstratégiáját. Ha a szükség úgy hozza, akkor képesek lesznek közösen megvédeni bolygónkat.

Felhasznált irodalom

- [1] Almár I., Galántai Z., *Ha jövő, akkor világűr*. Budapest, Typotex, 2007.
- [2] Balogh G., A 2021-es év holdkutatása. *Planetology*, 2021. április 17. Online: <https://planetology.hu/a-2021-es-ev-holdkutatasa/>
- [3] J. N. Balujevszkij, „Transzformácija ugroz bezopasznosztyi,” *Voenno-promüslennüj Kurir*, 2008. 4. sz.
- [4] Bányát nyitna a Holdon Putyin. *Ripost*, 2017. november 19. Online: <https://ripost.hu/politik/kulfold/banyat-nyitna-a-holdon-putyin-1037584/>
- [5] V. Beldavs, American dominance in space and the Space Force. *The Space Review*, 2018. június 25. Online: www.thespacereview.com/article/3519/1
- [6] Both E., Amerikai elnökök és a világűr. *Űrvilág*, 2016. november 22. Online: www.urvilag.hu/urpolitika/20161122_amerikai_elnokok_es_a_vilagur
- [7] Both E., Kína rakétái és új tudományos műholdjai. *Űrvilág*, 2017. április 18. Online: www.urvilag.hu/kinai_muholdak/20170418_kina_raketai_es_uj_tudomanyos_muholdjai
- [8] Both E., Orosz Hold-tervek. *Űrvilág*, 2016. július 13. Online: www.urvilag.hu/orosz_urtervek/20160713_orosz_holdtervek
- [9] Deák J., „Katonai stratégiák változásai és fejlődésük lehetősége irányai,” *Hadtudomány*, 1 sz. pp. 55–69. 2008. Online: www.mhht.eu/hadtudomany/2008/1_2/055-069.pdf
- [10] S. Erwin, Hyten, U.S. Space Force is 'on solid ground' despite speculation. *SpaceNews*, 2018. Online: <https://spacenews.com/hyten-u-s-space-force-is-on-solid-ground-despite-speculation/>
- [11] S. Ervin, Q&A: Air Force Gen. John Hyten says U.S. space strategy, budget moving 'down the right path'. *SpaceNews*, 2018. április 3. Online: <https://spacenews.com/qa-air-force-gen-john-hyten-says-u-s-space-strategy-budget-moving-down-the-right-path/>

- [12] S. Erwin, U.S. STRATCOM to take over responsibility for nuclear command, control and communications. *SpaceNews*, 2018. július 23. Online: <https://spacenews.com/u-s-stratcom-to-take-over-responsibility-for-nuclear-command-control-and-communications/>
- [13] Estók S., „A hálózati rendszerlogisztika interaktív virtuális integrációja,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 1. sz. pp. 275–286. 2018. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4292/3507>
- [14] Estók S., „Hálózatközpontú integrált interdiszciplináris logisztika,” *Bolyai Szemle*, 18. évf. 3. sz. pp. 23–33. 2009.
- [15] Feledy B., Ürerő. *Új Szó*, 2020. augusztus 8. Online: <https://ujsoz.com/velemen/urero>
- [16] Fischer F., *A kétpólusú világ, 1945–1989*. Tankönyv és atlasz. Budapest–Pécs, Dialóg Campus, 2005.
- [17] MTI, Új csillagháborúra készül Bush. *Index.hu*, 2005. május 18. Online: <https://index.hu/kulfold/sw0518/>
- [18] Laczkó M., *Katonai stratégiai alapismeretek*. Budapest, ZMNE, 2005, I. fejezet 7.
- [19] Wikipedia The Free Encyclopedia, *Luna program*. Online: www.popularmechanics.com/space/moon-mars/a36984208/soviet-luna-program-history/
- [20] A. Яковенко: Почему опасно размещать оружие в космосе. *Российская Газета*, 2005. május 25. (A. Jakovenko orosz külügyi szóvivő) Online: <https://rg.ru/2005/05/25/kosmos.html>
- [21] M. Whittington, What would the mission of the United States Space Force be? *SpaceNews*, 2018. június 19. Online: <https://spacenews.com/what-would-the-mission-of-the-united-states-space-force-be/>
- [22] Wikipédia a szabad enciklopédia, *Ballisztikus rakéta*. Online: https://hu.wikipedia.org/wiki/Ballisztikus_rak%C3%A9ta
- [23] Wikipedia The Free Encyclopedia, *Nuclear Command and Control*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_command_and_control
- [24] Wikipédia a szabad enciklopédia, *Sencsou-5*. Online: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Sencsou%E2%80%935>
- [25] Wikipedia The Free Encyclopedia, *Transformational Satellite Communications System*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Transformational_Satellite_Communications_System
- [26] Wikipédia a szabad enciklopédia, *Űrkorszak*. Online: <https://hu.wikipedia.org/wiki/%C5%B0rkorszak>
- [27] Wikipédia a szabad enciklopédia, *Világűr szerződés*. Online: https://hu.wikipedia.org/wiki/Outer_Space_Treaty
- [28] Király A., Magáncéggel térhetnek vissza a Holdra az amerikaiak. *444.hu*, 2016. augusztus 4. Online: <https://444.hu/2016/08/04/maganceggel-terhetnek-vissza-a-holdra-az-amerikaiak>

Space Force and Space Strategy in the Multipolar World

U.S. President (Barack Obama) did not care so much for the elaboration of the new Space Force and its strategy; he did not assume responsibility for his decision. However, debate on how to solve this task of national security had been going on for a decade. In the changing, multipolar world each global power had Space Force, except for the USA. Following the directive by the President, the establishment of the sixth branch of the armed forces had started. By the end of

summer 2018 the outlines of the creation of Space Force and space strategy were set up. Russia has been present in Space since more than half a century. Meanwhile Cold War struck, and a massive economic and politic crisis between 1991–2007 evolved. Despite all this, Russia maintained the protection of her interests even in hard times, as much as possible. China started from scratch to be present in Space and for her efforts to be taken seriously. After 26 years, no one is questioning this.

Keywords: *space strategy, Space Force, space, space policy, space station*

Dr. Estók Sándor, PhD témavezető Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola estok.sandor@gmail.com orcid.org/0000-0002-2422-5293	Sándor Estók, PhD Supervisor Óbuda University Doctoral School on Safety and Security Sciences estok.sandor@gmail.com orcid.org/0000-0002-2422-5293
---	--



Ujjady András, Major Gábor

A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl

A pilóta nélküli légi járművek megjelenésük óta hasznot és előnyt hoztak a használóiknak és sok-sok bosszúságot a jármű által okozott csapást elszenvedő félnek. Egészen addig, amíg katonai kézben, hadiipari produktumként tekintettek a légi robotokra, nem volt szükség és nem is alkottak kategóriákat a rendszerezésükre. Miután, mint minden katonai eszköz, tárgy, alkalmazás és tudás, megjelentek a drónok is a civil mindennapokban, egyre nagyobb szükség mutatkozott a korlátozó (vagy megengedő jellegű), keretet adó szabályozás kialakítására.

Az alábbi publikációban a szerzők bemutatják, hogy milyen ismérvek, jellemzők alapján lehetséges csoportokba sorolni ezeket az égi eszközöket. A cikkből az olvasó megismerheti továbbá, hogy a katonai pilóta nélküli repülésnek milyen kategóriái léteznek, és ezek milyen különbséget mutatnak egyes országok drónokkal kapcsolatos elképzelései esetében.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légijármű-rendszerek, UAS, drón, UAV-kategóriák, drónevolúció

1. Bevezetés

Kevés olyan ember van a világon, aki nem látott, nem hallott vagy nem olvasott a pilóta nélküli légi járművekről,¹ azok képességeiről és a számtalan lehetőségről, amit ezekkel a légi eszközökkel meg lehet valósítani. Mindenkiben érzelmeket és gondolatokat vált ki, már maga a drón kifejezés említése is. Nagyon érdekes eredményt hozott egy 2021 januárjában elvégzett, ehhez a témához kapcsolódó felmérés, amelyben a megkérdezettek elmondhatták a véleményüket, benyomásukat a játéktól a harci bevetésben részt vállaló légi robotokig. A kérdőívben alkotott véleményeket, észrevételeket és benyomásokat egy következő írásban értékeljük ki és publikáljuk. Az emocionális habitusuknak megfelelően az emberek vagy szeretik, vagy pedig darabjaira aprítva látnák legszívesebben a napjaink legdinamikusabban fejlődő és az élet minden szegmensében magának helyet követelő légi organizmusokat.²

A drónok a 21. századra nélkülözhetetlen eszközökké váltak a gazdasági életben, az egyfős vállalkozásokban éppúgy, mint a nemzetközi óriás cégek működésében. Miközben a használatuk

¹ Unmanned Aircraft Systems.

² Organizmus (főnév), „élő” szervezet, a fizikai világban létező test, amely képes a környezetétől függetlenül helyzetet vagy helyet változtatni, a környezetére hatást kifejteni, vagy összefüggő részekből álló rendszer, amely szoros kölcsönhatásban működő egész, és felépítésében, működésében hasonlít egy élőlényhez, élő szervezethez, vagy egyedekből álló közösség; tagokból álló szervezet (pl. drónrajok).

A szó eredete: [organizmus < latin: organismus (organizmus) < organum (eszköz, szerv) < görög: organon (eszköz, szerv < „az, ami működik”)] [10].

mára lényegében elengedhetetlen, eljutott a jogalkotás arra a szintre, hogy számos akadályt gördített a használat eddigi gyakorlatának folytatása elé, még ha a szabályzó megalkotásában részt vállalók egészen más érzelmi töltettel képesek is véleményt formálni a folyamatról és a megszületett reguláról. Cégek, társaságok ezekben a robotokban és rendszerekben látták a jövő termelőeszközeit, amelyek növekvő pályára állítják a szervezetük finansziális növekedését. Mivel a drónok nem csak hatékonyak, hanem olcsóbban, gyorsabban és – ami a legfontosabb – biztonságosabban is képesek olyan feladatok elvégzésére, amelyekhez egyébként szakképzett munkaerőre lenne szükség, vagy amelyek veszélyt jelentenének a munkásokra, joggal bízhattak a vállalkozások a gyorsuló gazdasági fejlődésben.

Mielőtt azonban teljesen lemondanánk az UAV³-k használatáról és ezzel minden előnyéről, ismerkedjünk meg a pilóta nélküli légi jármű elnevezésének körülményeivel, majd nézzük meg, hogy milyen paraméterek és jellemzők alapján lehet ezeket csoportokba tagolni.

2. Mik azok a drónok, és mi alapján tudjuk csoportosítani őket?

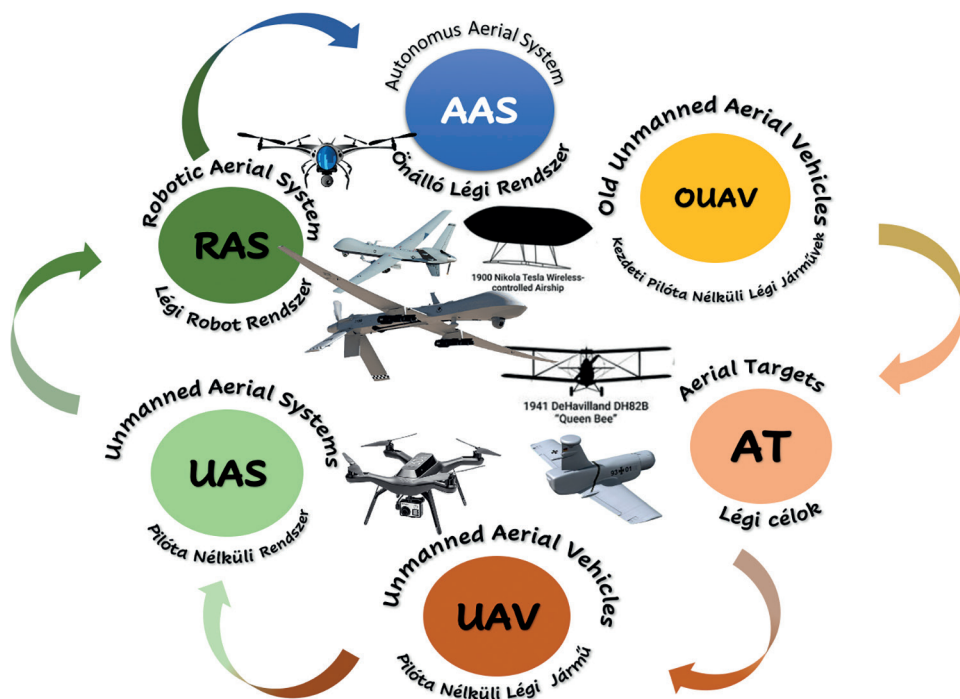
A drón kifejezés megismeréséhez és megértéséhez ismerkedjünk meg a Queen Bee elnevezésű légi járművel. Ezt a lucfenyőből és rétegelt lemezből készült kétfedelű repülőgépet az angol Királyi Haditengerészetnél használták 1935-ben először, majd az 1947-es „nyugdíjba vonulási” számos alkalommal távirányított, pilóta nélküli célrepülőként. Képes volt 100 km/h-s sebességgel, 500 km-es távolságra és 5200 m-es magasságig repülni a légvédelmi lövészetek alkalmával. Egy ilyen lövészetet tekintett meg a kor egyik amerikai admirálisa, William Standley⁴ a londoni haditengerészeti konferencia időszakában. Az angol gyakorlatozó rendszer olyan mély benyomást tett rá, hogy hazájába visszatérve 9 pontban rögzítette elvárásait, és megbízta Delmer Fahrney-t,⁵ hogy az amerikai flotta kiképzésére fejlesszen ki hasonló képességet [19]. Az angol minta tiszteletére Fahrney az általuk kifejlesztett légi eszközt „drone”-nak nevezte el. Talán ennek a fejlesztésnek a leírása az első feljegyzés, amelyben egy hím, mézelő méh (hivatalos nevén drón), elnevezéssel illetnek egy légi járművet. Ezt követően a rádióvezérelt, emberi jelenlét nélkül repülő légi jármű elnevezésének szinonimája lett a drón kifejezés. Egészen a vietnámi háború 1973-as befejezéséig, legyen az cél- vagy gyakorlati drón, vagy akár felfegyverzett támadó légi jármű, ezzel a névvel illette a szakzsargon, illetve a sajtó híradása is. Ezt az időpontot követően lett „színesebb” az elnevezés, mivel először a Távolról Vezetett Jármű (RPV), majd Pilóta nélküli Légi Jármű (UAV), ezt követően a Távolról Irányított Légi Rendszer (RPAS), majd napjainkban már a Pilóta nélküli Légi Rendszer (UAS), de egyre gyakrabban a Légirobot-rendszer (RAS) és az Önálló Légi Rendszer (AAS) kifejezésekkel is fogunk még találkozni, amelyek ennek a rohamosan fejlődő légi organizmusnak a csere-szabatos leírását adják.

³ *Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aircraft System*, pilóta nélküli légi jármű/pilóta nélküli légijármű-rendszer.

⁴ William Harrison Standley (1872. december 18. – 1963. október 25.). Az Egyesült Államok haditengerészetének admirálisa. Az 1935. december 7. és 1936. március 25. közötti londoni haditengerészeti konferencia küldöttként képviselte az Egyesült Államokat.

⁵ Delmer Stater Fahrney (1898. október 23. – 1984. szeptember 12.) amerikai haditengerészeti tiszt, repüléstechnikai mérnök. Repülőgépek szabadalmainak birtoklása, irányított rakéták, támadó drónvezérelt rakéta és rádióvezérelt repülőgépek fejlesztése fűződik a nevéhez.

A változó és egyre finomodó elnevezések légi eszközünk precizítására, képességeire, tudására és lehetőségeire utalnak, amelyek előrevetítik az „önálló döntések, az autonóm módon történő gondolkodás” vízióját, amely nem csupán repülési pályájuk megválasztása, de mindennapi alkalmazásuk terén is megmutatkozik. Az evolúció során (1. ábra) a robotizált berendezések az egyén számára egyre több lehetőséget, kényelmi szolgáltatást és információs látókörbővülést fognak jelenteni, ami autonóm⁶ feladat-végrehajtást eredményez, azáltal, hogy egy operátor, egyidejűleg több légi eszköz manővereit koordinálja, mivel a „felnőtté vált, önálló” eszközünk „nem igényli” a folyamatos felügyeletet. Ebből kiindulva, a jövő légi járműveinek tudását, kinézetét, felszereltségét, meghajtási megoldásait jelenleg nehéz pontosan meghatározni. A „változás kézenfekvő, a fejlődés pedig garantált” hiszen a levegőben közlekedő járművek nélkül nem tartana itt a gazdaság, a turizmus és természetesen a vírus-mutációk terjedése sem [11, p. 282], [4]. A folyamatára a szerzők elképzelését tükrözi a drónos „őskortól” a feltételezett „intelligens robotok koráig”, amely ciklus részletes ismertetése és elemzése egy későbbi publikáció része lesz.



1. ábra

Drónevolúció (Major Gábor szerkesztése [16] alapján)

⁶ Független, önálló, különálló a feladat végrehajtása során.

2.1. Csoportosítás, osztályozás

Számos csoportosítási lehetőséggel találkozhatunk a drónok rendszerezése során. Többnyire három technikai paraméter alapján történő kategorizálás terjedt el: a mérete alapján (amely elsősorban a maximális felszállótömeget takarja jelen esetben), a feladatköre szerint és az autonómia mértékének meghatározása mentén [17].

A drónok csoportosítása, osztályozása folyamatos átalakuláson megy keresztül azon egyszerű oknál fogva, hogy egyre több és újabb kategória jelenik meg az eszközök „tudásának” fejlődése okán, mind a civil és mind a katonai oldalon. Mivel a civil életben meghatványozódott a drónok és drónfelhasználók száma, elengedhetetlenné vált azok minél pontosabb szabályozása. Mivel a hadseregek is használnak civil célra fejlesztett, kereskedelmi forgalomban elérhető drónokat, ezért a jogszabályok hatással vannak a katonai felhasználásra is [8, p. 15].

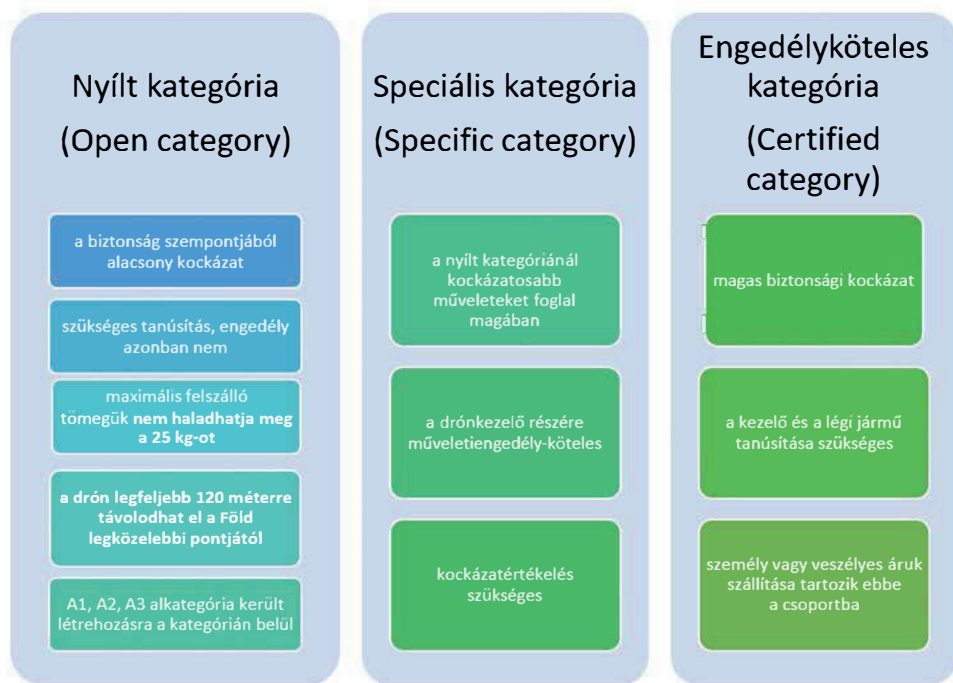
Amennyiben minden szerteágazó feladatrendszert megvizsgálunk, láthatjuk, hogy az adott felhasználási környezetben sem egyszerű az érintett terület eljárásrendjébe, szabályozási metódusába hatékonyan beilleszteni az eszközt. Mivel a „dróntechnológia” számos lehetőséget nyit meg a katonai felhasználáson túl az ipar, a mezőgazdaság és a kereskedelem területén, ezért a szabályozásuk kiterjesztése szükségszerű lehet a magánszféra és adatvédelmi kérdések területén is. Annál is inkább fontos ez a fajta kontroll, mivel elsősorban a repülő szerkezetekre mint hordozó platformra szerelt eszközök (mozgóképfelvévő kamera, fényképezőgép, csomagszállítás, hőszensor, infrakamera, GPS-jeladó, bluetooth, WiFi-jeladó, mozgásérzékelő, arcfelismerő, biometrikus szkennerek stb.) diverzifikált és kombinálható felhasználási módjai nyújtanak lehetőséget a szerteágazó igénybevételi módzatokra [12, p. 282].

A jelen korszak nagy mérföldkő lesz az osztályozás és a jogszerű működtetés szempontjából, mert 2021 januárjában az EU-ban és ezzel együtt Magyarországon is hatályba lépett a drónok használatával kapcsolatos jogszabály.

2.1.1. Méretbeli osztályozás

A méretbeli osztályozás jelen esetben kizárólag a maximális felszállótömeg (MFT) által meghatározott besorolást jelenti, amely minden esetben magát a légi járművet és az összes hasznos terhet⁷ jelenti, amelyet a járműre rögzítenek. A 2019/947/EU rendeletben foglaltak alapján, a civil UAS-rendszerek esetében biztonságkritikus szempontból három műveleti kategóriát határoztak meg a 2. ábrán bemutatottak szerint: „nyílt”, „speciális” és „engedélyköteles” kategóriák [1].

⁷ A pilóta nélküli állami légi jármű repüléséhez közvetlenül nem szükséges, különböző típusú eszközök, képrögzítő eszközök és szenzorok [38/2021. (II. 2) Korm. rendelet].



2. ábra
Drón műveleti kategóriák (Major Gábor szerkesztése [1] alapján)

A legtöbb szabadidős és a biztonsági szempontból alacsony kockázatú kereskedelmi pilóta nélküli légi járművet a nyílt kategóriába sorolták. Az ebben a kategóriában megtalálható légi eszközöket a működési közegét tekintve jelenleg az A1, A2 és A3 alkategóriák szerint kell besorolni, és ennek megfelelő regisztrációs, nyilvántartásba vételi, képzési és vizsgáztatási, valamint operatív műveleti előírások az irányadók. Ebben az előírárendszerben annyi módosulás történik 2023-ban, hogy ettől az időponttól kezdve a dróngyártók (a magánépítők a saját építésű járműveiket tekintve is) kötelesek feltüntetni a légi járművön a kategória besorolását, ami C0-tól C4-ig terjed az 1. táblázatban bemutatott paraméterek és feltételek teljesülése esetén. A táblázatból látható, hogy az A és C kategóriák ekvivalensen használhatók a leírt időpontot követően is.

1. táblázat
A nyílt kategória alcsoportjai (Major Gábor szerkesztése [2] alapján)

UAS		Művelet / üzemeltetés		Drónüzemeltető / -pilóta		
osztály- azonosító	MFT*	alkategória	működési korlátozások	üzemeltető regisztráció	a „Pilóta” kompetenciái	a „Pilóta” minimum életkora
saját építésű	< 250 g	A1 (az A3 alkate- góriában is repülhet az A1 szabályok betartásával)	átrepülhetnek emberek felett (lehetőség szerint tilos embercsoport felett repülni)	nem kell, ha a jármű kamera/ fedélzeti érzékelő (adatrögzítő) nélküli és nem a játék kategóriába sorolható	nincs szükség képzésre	nincs minimum életkor
C0					ismeri a felhasználói kézikönyvet	16+, de nincs minimum életkor, ha a drón játék
C1	< 900 g		minimalizálni szükséges az emberek feletti repülést tilos embercsoport felett repülni	igen	ismeri a felhasználói kézikönyvet elvégzi a teljes online képzést sikeresen teljesíti az online elméleti vizsgát	16+
C2	< 4 kg	A2 (az A3 alkate- góriában is repülhet)	kerülni kell a műveletbe nem bevon emberek fölötti repülést tartsa a 30 m-es vízszintes távolságot a nem érintett emberektől (ez csökkenthető 5 m-re, ha az alacsony sebességű funkció aktíválva van)	igen	ismeri a felhasználói kézikönyvet elvégzi a teljes online képzést sikeresen teljesíti az online elméleti vizsgát nyilatkozik az elvégzett önálló gyakorlati képzés lefolytatásáról írásbeli vizsgát tesz egy kijelölt vizsgahelyen	16+
C3	< 25 kg	A3	ne repüljön emberek közeliében a városi területeken kívül lehet repülni (150 m távolságra)	igen	ismeri a felhasználói kézikönyvet elvégzi a teljes online képzést sikeresen teljesíti az online elméleti vizsgát	16+
C4						
saját építésű						

* maximális felszálló tömeg (a jármű teljes specifikációját beleértve)

Az eddig ismertetett besorolási osztályok tulajdonképpen a polgári felhasználást mutatták be. Mivel a publikáció alapvetően a katonai jellegű pilóta nélküli légi járműveket veszi górcső alá, így a következőkben ezek osztályozási lehetőségeibe ad betekintést az írás. A NATO által használt rendszer szerint három csoportot (CLASS I, CLASS II, CLASS III) különböztet meg, ahogyan azt a 2. táblázatban mutatjuk be.

2. táblázat

Pilóta nélküli légi járművek osztályozása a NATO-ban (Major Gábor szerkesztése [9, p. 340] alapján)

Osztály/ MFT*	Kategória/ MFT*	Alkalmazási magasság	Normál hatósugár	Jellemző platform
I. osztály ≤ 150 kg	micro ≤ 2 kg	földfelszín felett 200 lábíg (60 m)	5 km	Black Widow, Black Hornet Nano
	mini 2-20 kg	földfelszín felett 3000 lábíg (0,9 km)	25 km	SOFAR, Raven Skylark I-LE Casper 250, Scan Eagle, Desert Hawk III
	kisméretű ≥ 20 kg	földfelszín felett 5000 lábíg (1,5 km)	50 km	ATE Vulture, Tadiran Mastiff, Hermes 90 Luna
II. osztály 150 kg- 600 kg	harcászati	földfelszín felett 10 000 lábíg (3 km)	200 km	Pcsela-1T IAI Heron, Spurwer, Ranger,
III. osztály ≥ 600 kg	MALE – közepes magasságú eszközök	földfelszín felett 45 000 lábíg (14 km)	nem limitált	Heron TP, Orion Predator A, B, Hermes 900,
	HALE – nagy magasságú eszközök	földfelszín felett 65 000 lábíg (20 km)	nem limitált	RQ-4 Global Hawk, MQ-4C Triton, Ryan Firebee II
	csapásmérés	földfelszín felett 65 000 lábíg (20 km)	nem limitált	DR-8, Hongdu GJ-11 Sharp Sword

*minimális felszálló tömeg (a jármű teljes specifikációját beleértve)

A 2. táblázatban bemutatott egységes NATO-osztályozástól némi eltérést mutat, az egyik drón „nagy hatalomnak” számító Amerikai Egyesült Államok Hadügyminisztériuma által elkészített csoportosítás, amely a 3. táblázat adatai szerint 5 (GROUP I–V) szegmenst jelöl meg.

3. táblázat

Pilóta nélküli légi járművek osztályozása az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma (DoD) szerint (Major Gábor szerkesztése [3], [5] alapján)

Csoport	MFT*	Alkalmazási magasság	Normál hatósugár	Képviselői
Group I.	< 9 kg	< 400 m (AGL**)	50–100 km	Mosquito, RQ-11 Raven, Bayraktar, RQ-7 Shadow
Group II.	10–25 kg	< 1000 m (AGL**)	50–100 km	Boeing Eagle Eye, RQ-2 Pioneer, Aerospace RS-20, Skyeye R4E
Group III.	< 600 kg	< 5500 m (FL 180)	50–100 km	RQ-7B Shadow, RQ-21 Blackjack, Navmar RQ-23 Tigershark, Arcturus- UAV Jump 20, Arcturus T-20, SIC25, Resolute ISR Resolute Eagle, Harfang
Group IV.	> 600 kg		1300 km	MQ-8B Fire Scout, MQ-1A/B Predator, MQ-1C Gray Eagle
Group V.	> 600 kg	> 5500 m (FL 180)	22 000 km	MQ-9 Reaper, RQ-4 Global Hawk, MQ-4C Triton

*maximális felszálló tömeg (a jármű teljes specifikációját beleértve)

**AGL = talajszint felett

Összehasonlításuképpen, napjainkra az UAV orosz osztályozása is kialakult, amely eddig főként csak a járművek katonai céljára összpontosított. A 4. táblázatban látható osztályozás számos paraméterben különbözik az AUVSI⁸ javaslataitól. Ilyen különbség például, hogy megszüntették az UAV-csoportokat, az Orosz Föderációban hiányoznak a külföldi osztályozás egyes csoportjai, az oroszországi könnyű UAV-k lényegesen nagyobb hatótávolsággal rendelkeznek stb.

4. táblázat
Pilóta nélküli légi járművek orosz osztályozása (Major Gábor szerkesztése [20] alapján)

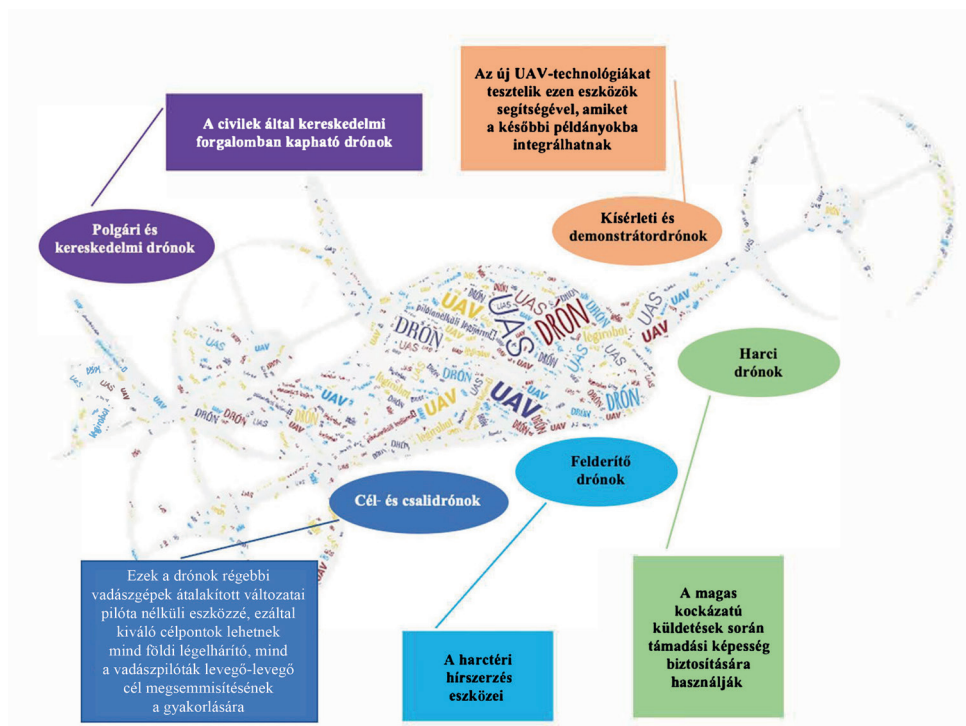
Kategória	Felszállási tömeg (kg)	Hatásköre (km)
Mikro és mini rövid hatótávolságú UAV	0–5	25–40
Könnyű rövid hatótávolságú UAV	5–50	10–70
Közepes hatású könnyű UAV-k	50–100	70–150 (250)
Közepes UAV	100–300	150–1000
Közepesen nehéz UAV	300–500	70–300
Közepes hatótávolságú nehéz UAV	<500	70–300
Hosszú repülési időtartamú nehéz UAV	<1500	1500
Pilóta nélküli harci repülőgépek	<500	1500

2.1.2. Feladatkör szerinti osztályozás

Ennél az osztályozási résznél napjainkban csupán a képzelőerőnk szabhat határt, látva a „rohamos” fejlődést, amely a katonai felhasználáson messze túlmutat, és olyan feladatok is megoldhatóvá válnak, amelyek az ember számára nem, vagy csak nehezen megoldhatók. Amennyiben a katonai mellett az állami, rendvédelmi, katasztrófavédelmi és a polgári felhasználási területeket is megpróbáljuk tételesen felsorolni, akkor a „rohamos” jelző a fejlődést, a modernizációt és az innovációt tekintve maximálisan helytállónak mutatkozna, ami alkalmassá teszi ezeket a légi eszközöket különböző munkafolyamatok elvégzésére a termelékenység, hatékonyság, vagy akár a biztonság növelése érdekében [6], [13].

Az egyes speciális feladatkörök speciális kialakításokat, műszerezettséget, energiaforrást és meghajtási rendszert igényelnek, így az adott szakfeladat szerint a következő csoportokat különböztetjük meg a 3. ábrán látható módon, amelyen csupán a nagyobb egységeket mutatjuk be. A publikáció terjedelmi korlátai miatt a részfeladatok és részegységek további elemzésétől a szerzők ebben az esetben eltekintettek.

⁸ Association for Unmanned Vehicle Systems International, Nemzetközi Pilóta nélküli Járműrendszerek Szövetsége (Alapítva: 1972.).



3. ábra
Feladatkör szerinti osztályozás (Major Gábor szerkesztése [17] alapján)

2.1.3. Autonomitás szerinti osztályozás

A korai drónokat még nem lehetett autonóm rendszernek tekinteni, mivel tulajdonképpen operátorok által távvezérelt eszközökről volt szó. Miután az informatika, az irányítás és a gyártástechnológia fejlődése lehetővé tette a számítógépek minél kisebb méretben és minél nagyobb számítási kapacitással történő előállítását, miniaturizálását, nem jelentett a továbbiakban akadályt a mind kisebb méretű légi robot programozása sem. Az UAV fedélzetéről a földi irányító pontra közvetített repülési adatok ezt követően inkább tájékoztatják a kezelőt, mint elősegítik a közvetlen irányítást, mivel a kezelő utasításai leegyszerűsödnek a repülési irányt vagy a célpontot meghatározó paranccsá [11, pp. 278–279]. Ennek az informatikai forradalomnak a következő igazán meghatározó fordulópontja a mesterségesintelligencia-kutatások⁹ eredményeinek beépítése a pilóta nélküli repülés eszközszerkezetébe. A kutatás, fejlesztés

⁹ Mesterséges intelligencia (MI) – *artificial intelligence* (AI), a gépek emberhez hasonló képességeit jelenti, mint például az érzékelés, a tanulás, a tervezés és a kreativitás. Lehetővé teszi a technika számára, hogy érzékelje környezetét, foglalkozzon azzal, amit észlel, problémákat oldjon meg, és konkrét cél elérése érdekében tervezzék meg lépéseit. A számítógép nemcsak adatokat fogad (már előkészített vagy összegyűjtött adatokat érzékelőin, például kameráján keresztül), hanem fel is dolgozza azokat és reagál rájuk. Ezek a rendszerek képesek viselkedésük bizonyos fókú módosítására is, a korábbi lépéseik hatásainak elemzésével és önálló munkával [14].

egyre inkább a drónok autonóm működése, feladatainak ilyen jellegű végrehajtása irányába tolódik, ezáltal olyan légi képességek kialakítására lesz lehetőség, amely rendkívül hasznos és hatékony megoldásokat lesz képes adni a harcban a stratégáknak, a civil hétköznapiakban pedig a gazdasági élet számos szereplőjének.

Az automatizáltságuk szintjének megfelelően a drónokat az 5. táblázatban bemutatottak szerint hat osztályba sorolták, Level 0-tól Level 5-ig.

5. táblázat
A drónok automatizáltsági szintjei (Major Gábor szerkesztése [18] alapján)

Szint (Level)	Elnevezés	Rövid leírás	Irányítás	Akadály és esemény érzékelése	Másodlagos irányítás
0	Nem automatizált	Pilótairányítás van a művelet végrehajtása alatt még aktív biztonsági rendszerek mellett is.	Pilóta	Pilóta	Pilóta
1	Pilótafelügyelet	Az MI* önállóan irányítja a gépet az adott feladatra, viszont a pilóta beavatkozik és a feladat többi része „rá marad”.	Pilóta és az MI*	Pilóta	Pilóta
2	Részben automatizált	Az MI* önállóan irányítja a gépet az adott feladatra, míg a pilóta felügyeli és figyeli az akadályokat.	MI*	Pilóta	Pilóta
3	Feltételes automatizáltság	Az MI* önállóan irányítja a gépet az adott feladatra, a pilóta csak felügyeli és hiba esetén beavatkozik.	MI*	MI*	Pilóta
4	Magas szintű automatizáltság	Az MI* önállóan irányítja a gépet az adott feladatra, hiba esetén nem kell módosítania a pilótának.	MI*	MI*	Műveleti parancsnok pilóta-képességekkel
5	Teljes automatizáltság	Az MI* önállóan irányítja a gépet előre meg nem adott kondíciók között, hiba esetén nem kell módosítania a parancsnoknak.	MI*	MI*	Műveleti parancsnok

*MI=mesterséges intelligencia

A publikációban ezeket, az általánosságban elfogadott és használt csoportosítási és megvalósítási elveket mutattuk be, hiszen ezek alapján lesznek besorolhatók és összehasonlíthatók

az egyes országok hadseregeiben található légi eszközök. Igaz, a bemutatott táblázatokon kívül megtalálható több, más elveket előtérbe helyező rendező elv, amely koncepciók átgondolása, pontosítása a technológia fejlődésével szükségszerűvé fog válni. Néhány éven belül ezeket a kereteket „kinövi” a légi robotok „nemzedéke”, csupán az időpont és az emberi érettség kérdéses a változás lekövetésére.

3. Konklúzió

Aki a repülés, a drónokkal végrehajtható „mutatványok”, a légi közlekedés és a levegőbe emelkedő eszközök szabályozása témában érdeklődik, publikál, annak ezekben a témakörökben számtalan hírt, jegyzetet, könyvet, publikációt kell felkutatnia, elolvasnia, hogy tiszta, ám még így sem teljes képet tudjon megalkotni a képzeletében. Ha ebből még írni is szeretne, akkor azt rendkívül körültekintően kell megtennie, hiszen a repülés modern világunkban az utolsó nagy kalandok egyike, egyfajta jelképes ablak, amelyen keresztül a jövőbe pillanthatunk. A jövőbe, hiszen a légi közlekedési iparág már most olyan technikai, szervezeti és igazgatási megoldásokat tartalmaz, amelyeket az élet más területein csak évek vagy évtizedek múlva fognak felhasználni, olvashatjuk Sipos Attila könyvében, amelyben a nemzetközi polgári repülést és annak jogi környezetét mutatja be [15]. Már a könyv kiadásának évében a világ számos területén, ahogyan Magyarországon is, hatalmas léptékben növekedett a pilóta nélküli repülés iránti érdeklődés, amelynek technikai paraméterei, technológiai fejlettsége okán, a drónos repülés merész kalandból a hadvezérek pusztító fegyverévé, majd munkaeszközzé vált. Gyorsak, pontosak, egyre nagyobb teherbírásúak, egyre hosszabb ideig képesek a levegőben tartózkodni, de vajon a biztonság, a nyomon követhetőség, a megbízhatóság is hasonló tendenciával növekedett?

Bármilyen közlekedési formát tekintünk, amit az emberiség valaha használt, kijelenthetjük, hogy a repülés korunk legbiztonságosabb közlekedési formája, amely kivételes szellemi teljesítményeket és technikai innovációt ötvöz a tökéletesség felé. A légi közlekedés az egyik legszabályozottabb iparág, fogalmazza meg Sipos Attila, amivel egyet is ért mindenki, aki a repülésben valaha is dolgozott, vagy bármilyen kapcsolódási pontja van ehhez a gazdasági szegmenshez.

A kérdés csupán az, hogy biztosan a drónos iparág fejlődését megnehezítő, tiltó jellegű szabályozás éri el a célját, egy olyan megengedő jogalkotás helyett, amelyben a keretek a felhasználó szemszögéből a használatot segítik elő...?

Mert az iparág fejlődik, a tudomány, a technológia, a mérnöki zsenialitás mellette áll, ami a jogi támogatásról is biztosan elmondható lesz egyszer...

A publikációban a szerzők egy szemszögből bemutatták, hogy milyen eszközt és miért nevezünk drónnak, majd ezt követően megismerkedhettünk először a polgári felhasználású, majd a hadi robotrepülőgépek csoportosítási, osztályozási lehetőségeivel. Tisztn látható, hogy a kutatás és a fejlesztés egyre inkább a harci feladatokat ellátó drónok esetében az autonóm működés, önálló feladat-végrehajtás irányába tolódik, amelyet kétségtávol a mesterséges intelligencia kutatása tud megfelelően és maximálisan támogatni.

A kategóriák megalkotásánál megfigyelhető, hogy bizonyos specifikációk előtérbe kerültek, ami rugalmasabb tervezési eljárásokat tett lehetővé. Egy-egy ilyen légi robot megalkotásánál nyilvánvaló előnyök mutatkoznak az ember által vezetett repülőgépekhez képest, az UAV-k

bármilyen méretben megtervezhetők. A modularitást kihasználva megfelelnek a misszió számtalan profiljának, kezdve a taktikai feladatoktól egészen a stratégiai bevetésig. Ezt a tudást és modularitást felhasználva például a légi ellenőrzési tevékenység folyamatossága a drón-rajok alkalmazhatóságával nagyfokú hatékonysággal biztosítható, egyben az őrzésvédelmi tevékenységre tervezett előerő létszáma csökkenthető [7, p. 199].

Felhasznált irodalom

- [1] EASA, *Civil drones (Unmanned aircraft)*. Online: www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas
- [2] EASA, *Open Category Civil drones (Unmanned aircraft)*. Online: www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas/open-category-civil-drones
- [3] Penn State University, *Classification of the Unmanned Aerial Systems*. Online: www.e-education.psu.edu/geog892/node/5
- [4] Csóré A., Major G., „A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 171–191. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.113>
- [5] Unmanned Advantage Services, *DOD and DHS*.| Online: www.unmannedadvantages.com/applications/dod-and-dhs/
- [6] Gajdács L., Major G., „Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2. sz. pp. 101–112. 2018. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4342/3548>
- [7] Kiss B., Major G., Palik Mátyás: „Migration From a Bird's Eye View,” *Repüléstudományi Közlemények* 29. évf. 3. sz. pp. 189–202. 199. 2017. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4423/3613>
- [8] Kiss B., Major G., „Légből kapott segítség a Covid-19 ellen,” *Repüléstudományi Szemelvények*, 2021. (megjelenés alatt)
- [9] Krajnc Z., „A pilótánélküli légijármű rendszerek alkalmazásának doktrinális megközelítése a NATO-ban,” *Hadmérnök*, 14. évf. 1. sz. pp. 338–351. 2019. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.26>
- [10] Magyar értelmező szótár, *Organizmus*. Online: <https://wikiszotar.hu/ertelmezo-szotar/Organizmus>
- [11] Major G., „Does an autonomous drone return home at all time?” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2. sz. p. 282. 2018. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_2/2018-2-23-0499-Major_Gabor.pdf
- [12] Major G., „Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal?” *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 1. sz. pp. 168–169. 2015. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-15-0218-Major_Gabor.pdf
- [13] Major G., „Etikus-e a drónok használata?” *Honvédségi Szemle*, 144. évf. 2. sz. pp. 100–106. 2016. Online: http://real-j.mtak.hu/16400/2/Honvedsegi_Szemle_2016_2_teljes_szam.pdf
- [14] Európai Parlament, *Mi az a mesterséges intelligencia és mire használják?* 2020. szeptember 4. Online: www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20200827STO85804/mi-az-a-mesterseges-intelligencia-es-mire-hasznaljak

- [15] Sipos A., *A nemzetközi polgári repülés joga*. Budapest, ELTE Eötvös, 2018.
- [16] V. Prisacariu, *The history and the evolution of UAVs. From the Beginning till the '70s*. 2017. Online: www.semanticscholar.org/paper/THE-HISTORY-AND-THE-EVOLUTION-OF-UAVs-FROM-THE-TILL-Prisacariu/29c6b8a075e34c247f6468dc286cad77824397df
- [17] Dronelab blog, *Types of military drones: The best technology available today*. Online: www.mydronelab.com/blog/types-of-military-drones.html
- [18] Eurocockpit, *Unmanned Aircraft Systems and the concepts of Automation and Autonomy*. 2020. április 30. Online: www.eurocockpit.be/positions-publications/unmanned-aircraft-systems-and-concepts-automation-and-autonomy
- [19] L. Newcome, *Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles*. Globalspec. Online: www.globalspec.com/reference/27636/203279/chapter-9-delmer-fahrney-and-the-first-ucav
- [20] Geoscan, *Классификация БПЛА по летным характеристикам*. Online: <https://pioneer-doc.readthedocs.io/ru/master/database/const-module/classification/classification.html>

Beyond Civilian Drone Control, Beyond the Military

Since their inception, unmanned aerial vehicles have brought benefits to the user and much annoyance to their surroundings. As long as aerial robots were seen as a military product in military hands, there was no need to classify them, nor was there a category. Since, like all military tools, objects, applications and knowledge, drones have become part of everyday civilian life, there has been a growing need for restrictive regulation.

In the following publication, the authors describe the criteria and characteristics that allow these new flying vehicles to be classified into groups.

Furthermore, the article also explains what categories exist in connection with military unmanned aircraft and how they differ from country to country in their approach to drones.

Keywords: *unmanned aircraft system, UAS, drone, UAV for military use, UAV categories, drone evolution*

Major Gábor tanársegéd Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar	Gábor Major Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X	Department of Aircraft Onboard Systems major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X

Ujjady András BSc-hallgató Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék ua.andris@gmail.com orcid.org/0000-0003-3473-3221	András Ujjady BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems ua.andris@gmail.com orcid.org/0000-0003-3473-3221
--	--



Tartalom

<i>Elment Kővári Laci</i>	5
<i>ZSOLT JURÁS: Drones in Smart Cities</i>	7
<i>RÉMAI DÁNIEL: A légi uralom elméletének hatása az Izraeli Légierő kialakulására és fejlődésére</i>	19
<i>NAGY IMRE: Megakonstellációk</i>	31
<i>DOMÁN LÁSZLÓ: Katonai helikopterek komplex elektronikai hadviselési önvédelmi rendszereinek értékelése</i>	45
<i>BALAJTI ISTVÁN, TURAI ANDRÁS: Kiemelten fontos objektumok drón általi légi megfigyelések elleni védelmi képességeinek performanciavizsgálata</i>	65
<i>BENEDA KÁROLY, KAVAS LÁSZLÓ, VARGA BÉLA: A CFM56 típusú kétáramú gázturbinás sugárhajtómű égésterének numerikus áramlástani modellezése</i>	81
<i>PAULOV ATTILA: Légiforgalmi áramlásszervezési eljárások bevezetése a Magyar Honvédség repülőterein</i>	97
<i>SÁNDOR ZSOLT, PUSZTAI MÁTÉ: Pilóta nélküli légijármű-rendszerek tanúsítása – avagy a termékbiztonságtól a típusalkalmasságig</i>	113
<i>HORVÁTH GERGELY, SZILVÁSSY LÁSZLÓ: Az Airbus H145M helikopter fegyverei II. – HForce-fegyverrendszer</i>	129
<i>ZSOLT JURÁS: The Role of Drones in Enhancing Production Efficiency of Nuclear Facilities</i>	143
<i>ESTÓK SÁNDOR: Az űrhaderő és az űrstratégia a többpólusú világban</i>	153
<i>UJJADY ANDRÁS, MAJOR GÁBOR: A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl</i>	167