



MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY

Kiemelt közlemények

GÁBOR KATONA:

Environmental Security and Waste Management Aspects of the Tisza Floods

BERGER ÁDÁM:

Veszélyesanyag-tároló tartály üzemeltetésének iparbiztonsági feltételrendszere

BALLA TIBOR – PADÁNYI JÓZSEF:

Műszaki kiválóságok: Hollán Ernő

31. évf. (2021)
3. szám

ISSN 2063-4986 (elektronikus)



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Műszaki Katonai Közlöny

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kara, valamint a Magyar Hadtudományi Társaság Műszaki Szakosztályának elektronikus (online) megjelenésű tudományos folyóirata.

ISSN 2063-4986 (elektronikus)

Szerkesztőbizottság elnöke

Padányi József

Szerkesztőbizottság

Árpád Lőrincz

Hanka László

Hornycsek Júlia

Horváth Tibor

Kovács Tibor

Kovács Zoltán

Kuti Rajmund

Nagy Rudolf

Pavel Manas

Tóth Rudolf

Főszerkesztő

Kovács Zoltán

Szerkesztőség címe

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,
Művelési Támogató Tanszék

1101 Budapest, Hungária krt. 9–11. A. épület, 949. iroda

Levelezési cím: 1581 Budapest, Pf. 15.

E-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

Telefon: +36 1 432 9000/29 539 • HM 02-22-9539

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Ludovika Egyetemi Kiadó

Kapcsolat: www.ludovika.hu; kiadvanyok@uni-nke.hu

1083 Budapest, Ludovika tér 2.

A kiadásért felel: Koltay András rektor

Olvasószerkesztők: Resofszki Ágnes, Gergely Zsuzsanna, Kalcsics Ildikó

Tördelőszerkesztő: Fehér Angéla



Tartalom

Gábor Katona Environmental Security and Waste Management Aspects of the Tisza Floods	5
Berger Ádám Veszélyesanyag-tároló tartály üzemeltetésének iparbiztonsági feltételrendszere.	17
Balla Tibor – Padányi József Műszaki kiválóságok: Hollán Ernő	33
Salamon Endre Cianobaktérium-toxinokra vonatkozó hazai és nemzetközi előírások, különös tekintettel a Balatonra mint ivóvízbázisra	49
Fehér András Tibor – Négyesi Imre Mesterségesintelligencia-alapú kibertértámadási modellek	73
Szűcs Herman CFD-szimuláció folyamatának kockázatelemzése	89
József Zsolt Kersák – Ádám István Kiss Covid-19 Challenges of the German Federal Agency for Technical Relief (THW) in Germany	101

Gábor Katona¹ 

Environmental Security and Waste Management Aspects of the Tisza Floods

Tiszai árvizek környezetbiztonsági és hulladékgazdálkodási vonatkozásai

In this article, the author analyses the environmental safety and waste management tasks of the collection, selection and treatment of driftwood and waste accumulated on the upstream side of the Kisköre Dam as a result of floods. It describes separately the work carried out during the floods of 2017 and 2019, which were outstanding in terms of both volume and duration. It covers changes in the amount and proportions of waste and driftwood and analyses changes in work efficiency.

Keywords: ice flood, domestic waste, waste collection, selection, environmental remediation

A cikkben a szerző az árvizek következtében a Kiskörei Vízlépcső és Duzzasztómű felvizen fel-torlódtott uszadék és hulladék gyűjtésének, szelektálásának és kezelésének környezetbiztonsági és hulladékgazdálkodási feladatait elemzi. Külön ismerteti a volumenében és időtartamában is kiemelkedő 2017. és 2019. évi árvizek időszakában végzett munkákat. Kitér a hulladék és uszadék mennyiségének és arányainak változására, valamint elemzi a munkák hatékonyságának változását.

Kulcsszavak: jeges árvíz, kommunális hulladék, hulladékgyűjtés, szelektálás, környezeti kárelhárítás

1. Introduction

As it was proven by the cyanide and heavy metal contamination in the year 2000 on the River Tisza, the problem of environmental pollution cannot be solved within the traditional (modern) framework of nation-state sovereignty. For the solution of an environmental crisis, the limitation of nation-state sovereignty and a new type of international cooperation would

¹ Middle Tisza District Water Directorate, Head of Department, e-mail: katona.gabor@kotivizig.hu

be needed that takes ecological aspects into consideration.² The well-regulated domestic legal framework is useless if international regulations do not protect against potential external negative effects. This applies to both environmental damages caused by waste and the aspects of waste management.

As a result of eco-conscious education and well-organised waste collection and treatment, the extent of abandoned, untreated waste and the number of illegal waste dumps are decreasing in Hungary. Children get to know eco-conscious thinking, selective waste collection and recycling as early as in kindergarten, while in school it is part of their studies.³ To support this tendency, a sufficient legal framework should be established and technologies reducing waste-related environmental damages should be used. However, these efforts do not have a long history in Hungary. Until 2000, there was no waste management outline law. Before that the respective provisions were regulated in the general law of environmental protection, and the measures relating to environment threatening and environment damaging are contained by that even today. The first waste management law of Hungary was adopted by the Parliament on 23 May 2000, called Act No. XLIII of 2000 on Waste Management.⁴

It was modified several times, but the most significant change was the introduction of Act CLXXXV of 2012 on Waste, which was actually the establishment of the new waste law on 1 January 2013, and it is still in effect.⁵ The demand for a new law was brought to life by Directive 2008/98/EC that was published by the European Parliament and Council, which obliged the member states to put in effect the measures of the directive within two years, so by now waste management is done according to uniform principles in the legal system of each EU member state.

In spite of the above mentioned measures, environmental damage is still increasing in certain cases. The environmental burden of the driftwood arriving from the upper Tisza did not decline despite the expectations arising from the EU legal harmonisation. In 2019, a waste collecting system started to operate on the upper Tisza. Its task is to direct the larger size and larger amount waste to the floodplain and retain it at a previously selected area. It was installed at a location where waste and driftwood can be collected and held back with artificial obstacles. Following the flood wave, the waste mass can be collected, transported and (on the protected side of the dike) can be selected and handled by machines. To deal with

² János I Tóth, *A tiszai ciánszennyezés. Rendszerszemléletű elemzés* [Systemic Analysis of the Tisza Cyanide Pollution] (Szeged, 2002), 244.

³ Ágnes Tarné Venczel, *Környezettudatosságra nevelés az óvodában* [Environmental Awareness Education in Kindergarten] (MA thesis, Miskolc, 2018), 11.

⁴ Tímea Nikoletta Nagy, *A hulladékgazdálkodás szabályozásának új jogi alapja* [The New Legal Basis for the Regulation of Waste Management] (MA thesis, Miskolc, 2015), 6.

⁵ Ferenc Szabó, 'Implementációs kudarok és kiigazítási kísérletek a hazai hulladékgazdálkodási politikában' [Implementation Failures and Adjustment Attempts in Domestic Waste Management Policy], *Taylor Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Folyóirat* 9, no 2 (2017), 56.

smaller waste pollution, a redirection point has been formed by floating devices (self-propelled barges) on the right spot of the riverbed, at a slight angle of the flow. The waste stuck at the riverbank can be collected and loaded on trucks or barges by crawler or floating excavators. The lightweight waste floating and spreading on the surface of the main stream is collected with special collecting ships. This technology is capable of the collection of waste and driftwood until the gauge of Vásárosnamény reaches a water level of 600 cms. Because of this operating limitation – which makes it impossible or highly limited to use the system until floods – the prevention of environmental damage caused by waste at Lake Tisza and the Kisköre Dam is still unsolved. Besides the environmental risk, it also means a serious expense for the government and could also result in flood risk.

2. Legal aspects of flood transported waste

2008/98/EC Directive of the European Parliament and Council sets out measures for the protection of the environment and human health, which is expected to be achieved by the prevention or decreasing of the negative effects of waste production and management, and by decreasing the global effects of resource use and also the enhancement of efficiency. According to this, 'waste' is a material or object, which is or will be discarded by its owner, or they are obliged to discard it; and 'waste management' is the collection, transportation, utilisation and disposal of wastes, including the control of the process, the maintenance of the waste dumps and the related sales and mediating activity.⁶ According to these terms, the Act on Waste mentioned in the Introduction controls waste producing activities, waste management and its facilities in Hungary. The Act sets out basic principles, so for example based on the 'polluter pays' principle, the one producing the waste, owning the waste or manufacturing the product that becomes waste is responsible for covering the costs of handling and managing that waste. According to paragraph 31 (1) of the law, the waste owner should take care of the handling of the waste, during which they make sure it is handed over for handling, transportation, collection or to the public utilities. Paragraph 61 (6) of the Act sets out that the 'environmental protection authority can oblige those who are not willing to fulfil their obligations set out in paragraph [...] 31 (1) to transport and handle the illegally dumped or abandoned waste', furthermore paragraph 61 (3) states that if the owner of the waste is unknown, according to paragraph 31, the obligation is transferred to the owner of the property where the waste is located, which applies to the majority of waste drifting on the River Tisza.⁷

However, neither the Hungarian nor EU laws rule cases when waste is coming from a different country under uncontrolled conditions. The large quantity of waste coming with driftwood has been causing problems for a long time. In addition to its short-term effects on water quality, also the waste handling tasks need to be done. This is set out by Government Decree 90/2007

⁶ 2008/98/EC Directive of the European Parliament and Council.

⁷ 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról [Act CLXXXV of 2012 on Waste].

(IV. 26.), according to which the competent water directorate is responsible for controlling the operation of prevention and protection against environmental damage in case of surface waters and water management facilities. Damage control should be done in different alert levels. According to the alert levels, in level I the exploration of environment damage; in level II the preparation of operation; in level III the execution of damage control activity should be done.⁸ On the middle Tisza, these activities belong to the Middle Tisza District Water Directorate. However, the collection of waste is not only needed to fulfil the legal obligations. Plastic production often uses dangerous additives, and also the fast reproduction of waste generates an extreme increase in quantity. Degradation caused by UV is very slow and it is even slower in water, meanwhile plastic falls apart to tiny bits which bind chemical contaminations this way, building them into the ecosystems. 90 per cent of floating marine waste and 60–80 per cent of the total marine waste consists of plastic.⁹ It is out of question that plastic should be removed from the environment, as it is also obvious that if we miss doing that they will flow downstream and will accumulate in the oceans as part of one of the large waste islands.¹⁰

3. Experience gained during the ice flood of 2017

The ice flood of 2017 was accompanied by a never experienced amount of drifting waste. Managing an ice flood itself is a challenge, which requires special attention regarding flood protection activities.

As a result of congestion, ice can create an obstacle for the flow, the damming effect of which can be eliminated with the use of ice breaking ships and even explosives in some cases. The explosion of ice dams is one of the most dangerous tasks. In the event of an ice jam when the damming effect creates a difference in the water level, the operation should be organised by the instructor of explosion in a way that ensures constant monitoring of the ice dam so even its slightest movement can be reported to the persons working on the ice to allow them to escape in time.¹¹ This dangerous operation is made even worse by the uncertainty caused by the waste through the unpredictable consequences of moving on the ice dam and of the detonation. It is also impossible to identify the origin and composition of unknown material accumulated (Figure 1), which can threaten human health.

⁸ 90/2007. (IV. 26.) Korm. rendelet a környezetkárosodás megelőzésének és elhárításának rendjéről [Government Decree 90/2007 (IV. 26.) on procedures for the prevention and remedying of environmental damage].

⁹ István Gubek, 'A tengerek és óceánok műanyag szennyezésének komplex hatása – 1. rész: A probléma bemutatása' [The complex impact of plastic pollution of the seas and oceans – Part 1: Description of the problem], *Természetvédelmi Közlemények* 22 (2016), 35.

¹⁰ Jambeck et al., 'Plastic waste inputs from land into the ocean', *Science* 347, no 6223 (2015), 768.

¹¹ Norbert Daruka, 'Jégvédekezés robbantással' [Ice protection by blasting], *Műszaki Katonai Közlöny* 24, no 4 (2014), 63.



Figure 1. Waste floating with ice

Source: Compiled by the author.

An additional problem of waste coming down the river is that it gets into the retention areas with the flood wave and gets deposited there. After multiple floods, this results in accumulated waste, which contributes to the filling up of the retention area with material of environmental hazard. Hence the collection of drifted material in the floodplains is also needed, which is a very challenging task to organise because of the large size of the area.

In the event of a flood wave, the driftwood and waste is able to float through the open structures of the Kisköre Dam smoothly. However, in order to maintain the seasonal operational water level or to prevent overdrainage of the reservoir, the floodgates get closed in the falling limb of the flood to start damming. This is the time driftwood starts to accumulate, which should be collected first to make us able to select the waste. The extraction of driftwood from the water is possible in the falling limb with the use of ships in the foreground of the flood side of the dike, while the driftwood and waste remaining on dry surface after the flood can be collected and transported to the authorised waste dumps using serious amounts of labour and machinery. The composition of driftwood and waste extracted in the year 2017 is shown in Tables 1 and 2.

Table 1. Quantity and composition of waste extracted after the 2017 ice flood

Quantity and composition of waste extracted after the 2017 ice flood		
Communal waste	555 m ³	13.2%
Driftwood	308 m ³	7.3%
Other organic material	3342 m ³	79.5%

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

Table 2. Composition of extracted waste as a percentage by weight

Composition of extracted waste as a percentage by weight	
Glass	24%
Plastic wrapping	48%
Other plastic waste	22%
Rubber	5%
Metal wrapping	1%

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

Waste extracted and selected from the upstream side of the Kisköre Dam, the River Tisza and certain areas of Lake Tisza was transported to the waste dump of Tiszafüred, operated by NHSZ Tisza Nonprofit Kft. Waste collected into plastic bags on the lower sections of the river was taken to the dump of NHSZ Szolnok Public Service Provider Nonprofit Ltd. (NHSZ Szolnok Közszolgáltató Nonprofit Kft.).

4. Works done in 2019

During the spring of 2019 there were smaller but more durable flood waves coming down on the River Tisza. As the water level did not exceed the value where the Kisköre Dam gets opened, the driftwood mixed with communal waste started jamming at the upstream of the dam. As a result of the long accumulation period, the amount of driftwood got significant even in comparison with earlier years, which increased the risk of secondary environmental damage (dissolving, creation of microplastic). The amount and composition of the extracted driftwood and waste is shown in Tables 3 and 4.

Table 3. Quantity and composition of waste extracted after the 2019 spring flood

Quantity and composition of waste extracted after the 2019 spring flood		
Communal waste	436 m ³	4.7%
Driftwood	557 m ³	6.0%
Other organic material	8254 m ³	89.3%

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

Table 4. Composition of extracted waste as a percentage by weight

Composition of extracted waste as a percentage by weight	
Glass	8%
Plastic wrapping	71%
Other plastic waste	17%
Rubber	3%
Metal wrapping	1%

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

After extracting driftwood and waste from the upstream of the dam, the material got shipped to the winter port of Kisköre for unloading. The route is shown on Figure 2.

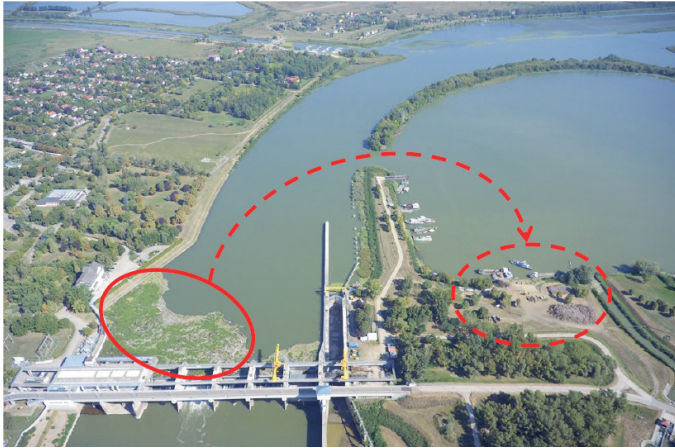


Figure 2. Place of collection, transport route and place of selection

Source: Compiled by the author based on graphics from Gábor Tóth, Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

The process of collection and the decreasing of the jamming that reached up to 1.7 hectares is shown in Figure 3.



Figure 3. Removal process

Source: Compiled by the author based on graphics from Gábor Tóth, Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

Collection and unloading is done by a rotating loader mounted on a floating body, transportation is made by barges. The selection of the unloaded material is done on site. Usable driftwood is distributed among the surrounding communities by the local municipalities based on social needs. Selected waste is categorised and pressed before transportation.

Organic waste is shredded and reused. Similarly to 2017 the – non-recyclable – waste extracted and selected from the upstream side of the Kisköre Dam, River Tisza and certain areas of Lake Tisza was transported to the waste dump of Tiszafüred, operated by NHSZ Tisza Public Service Provider Nonprofit Ltd. (NHSZ Tisza Nonprofit Kft.). Glass was transported by EGRI Iron Ltd. (EGRI Fém Kft.), with their own trucks. Selected PET bottles were pressed and baled by the representatives of the Association of Environmental Enterprises.

5. Summary of experience and comparison with earlier data

Data for comparison is available from 2007. They are shown in Table 5.

Table 5. Characteristic data of the waste extracted within the framework of environmental remediation activities in the period 2007–2019

Main data of waste and driftwood extraction from the River Tisza (2004–2017)										
Year of operation			Total extracted (m ³)	Extracted material				Proportion of communal waste in total extracted material	Total cost (Ft)	Efficiency (Ft/m ³)
Year	Period	Duration (days)		Communal waste		Usable driftwood (m ³)	Other organic material (m ³)			
			(m ³)	(t)						
2007	5–21 December	13	783	35	6.64	196	552	4.47	9,010,000	11,507
2009	17 April – 15 May	28	931	84	7.06	162	685	9.02	7,200,000	7,734
2010	12 April – 12 May	30	446	76	7.04	65	305	17.04	4,667,000	10,464
2011	24 August – 23 September	30	491	23	2.62	63	405	4.68	2,496,300	5,084
2012	5 April – 11 June	66	1,473	145	9.15	182	1,146	9.84	13,233,700	8,984
2012	9 July – 28 August	50	1,271	66	4.44	79	1,126	5.19	8,380,301	6,593
2013	21 May – 10 September	112	1,127	150	12.68	82	895	13.31	5,696,699	5,055
2014	2 July – 15 August	44	898	21	1.6	58	819	2.34	4,597,899	5,120
2015	22 April – 15 September	147	4,238	154	9.22	433	3,651	3.63	10,211,111	2,409
2017	15 February – 15 September	212	4,205	555	29.84	308	3,342	13.20	18,752,086	4,459
2019	14 June – 19 December	188	9,247	436	0.0	557	8,254	4.72	67,730,000	7,325
Total			25,110	1,745	90.29	2,185	21,180		151,975,096	

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

After analysing the data of Table 5, it becomes clear that the amount of extracted waste is continuously increasing. This can be the result of several factors including the efficiency of extraction or the level and duration of flood waves, which is affecting the quantity of grabbed driftwood and waste. However, it can be confidently stated that illegal waste dumping has not decreased in the catchment area. At present, we are not aware of any intention as a consequence of which any improvement could be expected in this field, and taking the events threatening the territorial sovereignty of Ukraine into consideration, which makes up as much as 25 per cent of the catchment area, we cannot expect any changes.

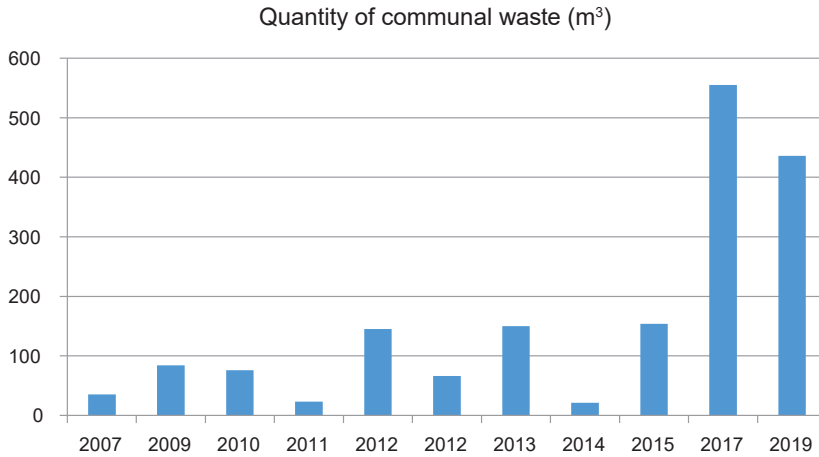


Figure 4. Amount of domestic waste collected per protection period

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

Maybe it can give us some confidence that the proportion of waste selected from the driftwood compared to the total amount is decreasing. This is shown in Figure 5, where values might show divergence due to the above mentioned reasons – efficiency of collection, level and duration of floods – but the trendline calculated from the averages clearly keeps to a negative direction, which shows a tendency of decrease.

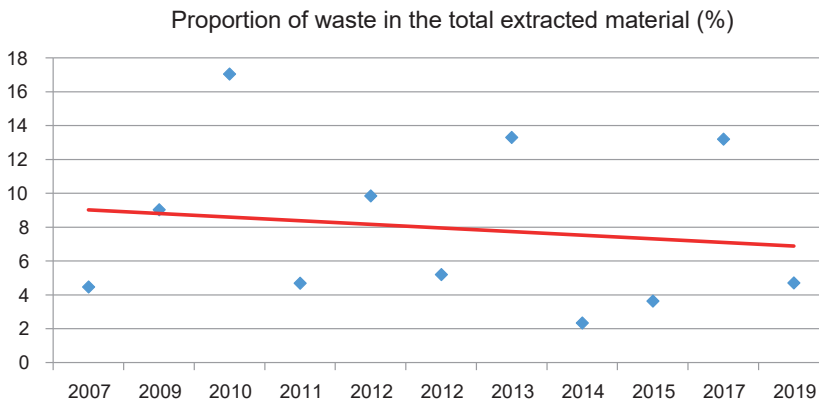


Figure 5. The ratio of waste to total extracted materials

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

It is worth looking at the costs as well, since it was impossible to pass them on and thus they are expected to be covered by the Hungarian Government in the future, too. The costs rising in each operation period is shown by the values marked with blue in Figure 6.

In the beginning, they hardly exceeded 10,000,000 HUF and they did not significantly differ in the certain operation periods, they shaped in proportion with the amount of the waste. In the last two periods (2017, 2019) – which significantly exceeded the earlier events both in volume and duration – the costs became disproportionately high. On the other hand, efficiency (yellow in Figure 6) was continuously improving together with the continuous decrease of the cost per extracted m^3 . This can be the result of the experience of the personnel involved; however, this trend seems to break in the case of driftwood and waste, significantly exceeding the average of earlier years in volume. Both indicate that protracted damage protection from large volume driftwood and waste increases costs exceeding the proportional extent. One possible reason is that earlier operations took place in summer or early autumn so weather conditions were more favourable, while in 2017 operation started in early spring and lasted over the whole of summer, and in 2019 it started in the summer and ended early winter. This way in both cases there was activity in less favourable conditions which brought down efficiency. In addition, the size of the unloading port is limited, storing large amounts of material demands further transportation, scheduling and logistics and any problem in the execution will further decrease efficiency.

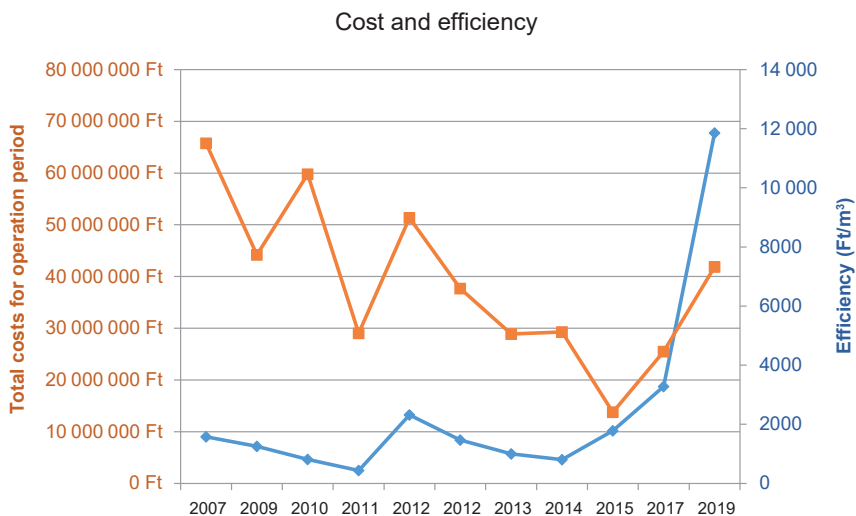


Figure 6. Development of costs and efficiency

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

6. Development of the extraction of annually accumulated large volumes of driftwood and waste upstream of the Kisköre Dam

In order to secure the extraction of annually accumulated driftwood and waste, to protect the dam, to increase the production of the power plant, to decrease pollution in the River Tisza (dissolving and microplastic) and to reduce epidemic danger (ASF), the area available for the operation needs to be enlarged. In addition – as the access is un paved on more than 100

meters – the stabilisation of the dirt road is also required to make us able to operate under all weather conditions, which would greatly increase efficiency. By building a selection hall, the process would be even more independent from the weather. For more efficiency, it is inevitable to renovate and replace the fleet used for shipping and loading. Based on Table 6, the average age of the machinery used is 33 years.

Table 6. Age of the vehicles used

Type of machinery	Year of manufacturing
Jégvirág VII ice breaking ship	1976
Jégvirág VIII ice breaking ship	1976
Z-2 barge	1974
Z-3 barge	1977
Floating crane II/Doosan loader	1988/2015
Floating crane IV/Poclain loader	1988/1986
Boat H-19438/Mercury15	1972/2013
ACSM-D boat/Mercury40	1976/2011

Source: Compiled by the author based on data from the Middle Tisza District Water Directorate (KÖTIVIZIG).

The majority of machinery and tools is too old or not even available. There are 6 machines older than 40 years used for the extraction and loading. Using these means great extra costs and time loss as malfunctions are regular even despite of the timely maintenance.

If the accumulated driftwood exceeds the earlier amounts, fixing points should be created on the flood protection wall located in front of the power plant for the safe fixing of the machinery. Extraction can only be done safely with reduced power plant operation because of the significant suction produced by that. Limited operation results in decreased energy production, which makes it even more important to increase the efficiency of the extraction.

7. Summary

In spite of EU legal harmonisation, member states comply – or do not comply – with the regulations in accordance with and to the extent of their economical capacity. Consequently, there are significant deficiencies in waste management in the countries of the upper catchment area of the River Tisza, while growing consumption increased waste production in the last decades there, too. A part of the waste is dumped in the river valleys from where it floats together with driftwood, polluting the environment. Driftwood accumulated at the Kisköre Dam needs to be collected because of the large amount of waste contained inside; this task is getting harder and will soon exceed the capacity of the machinery and tools available, so development is inevitable.

In addition to the machinery, the operational area also needs to be developed as at the moment it does not provide any protection against weather. Small-scale works can be done under the right weather conditions, however, in case of operations lasting for several months, this is not an option because it is possible that, with other flood waves coming, the operation

would take even more time – months or years. Both machinery and personnel are tied to this operation through its whole duration, which threatens carrying out their everyday basic duties.

With experience, new methods are arising in handling, utilising and storing waste. The large amount of driftwood that is not usable as firewood did not have a practical use so far, but selling it as shredded mulch as we did in the last few years can reduce costs.

However, the final and satisfactory solution would be the elimination of illegal communal waste dumps on the upper catchment area of the River Tisza. In order to ensure the good ecological state of the river, waste produced there should be managed professionally.

References

- 2008/98/EC Directive of the European Parliament and Council
2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról [Act CLXXXV of 2012 on Waste].
90/2007. (IV. 26.) Korm. rendelet a környezetkárosodás megelőzésének és elhárításának rendjéről [Government Decree 90/2007 (IV.26.) on procedures for the prevention and remedying of environmental damage].
Daruka, Norbert, 'Jégvédekezés robbantással' [Ice protection by blasting]. *Műszaki Katonai Közlöny* 24, no 14 (2014), 51–67.
Gubek, István, 'A tengerek és óceánok műanyag szennyezésének komplex hatása – 1. rész: A probléma bemutatása' [The complex impact of plastic pollution of the seas and oceans – Part 1: Description of the problem]. *Természetvédelmi Közlemények* 22 (2016), 33–61. Online: <https://doi.org/10.20332/tvk-jnatconserv.2016.22.33>
Jambeck, Jenna R, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, Kara Lavender Law, 'Plastic waste inputs from land into the ocean'. *Science* 347, no 6223 (2015), 768–771. Online: <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
Nagy, Nikolett Tímea, *A hulladékgyűjtés szabályozásának új jogi alapja* [The New Legal Basis for the Regulation of Waste Management]. MA thesis, Miskolc, 2015. Online: <http://midra.uni-miskolc.hu/document/19745/13698.pdf>
Szabó, Ferenc, 'Implementációs kudarok és kiigazítási kísérletek a hazai hulladékgyűjtési politikában' [Implementation Failures and Adjustment Attempts in Domestic Waste Management Policy]. *Taylor Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Folyóirat* 9, no 2 (2017), 56–67. Online: www.analecta.hu/index.php/taylor/article/view/13100/12956
Tarné Venczel, Ágnes, *Környezettudatosságra nevelés az óvodában* [Environmental Awareness Education in Kindergarten]. MA thesis, Miskolc, 2018. Online: <http://midra.uni-miskolc.hu/document/29120/24939.pdf>
Tóth, I János, *A tiszai ciánszennyezés. Rendszerszemléletű elemzés* [Systemic Analysis of the Tisza Cyanide Pollution]. Szeged, 2002.

Berger Ádám¹ 

Veszélyesanyag-tároló tartály üzemeltetésének iparbiztonsági feltételrendszere

Industrial Safety Conditions for the Operation of Dangerous Substance Storage Tanks

Az 5 m³-nél nagyobb űrtartalmú atmoszférikus veszélyesfolyadék-tároló tartályoknak nemcsak a létesítése, hanem az üzembe helyezése, az üzemeltetése és a megszüntetése is szigorú előírásokhoz kötött. A vonatkozó engedélyezési eljárásban párhuzamosan több hatóság is érintett, ugyanakkor a cél közös, az üzemeltetőnek bizonyítania kell a veszélytelen működést. A veszélytelen működés dokumentálásának és ellenőrzési, vizsgálati módszereinek számos katasztrófavédelmi, iparbiztonsági aspektusa van. A szerző jelen publikációban a veszélytelen állapot igazolásához szükséges műszaki, szervezési feltételrendszert ismerteti, részletesen bemutatva az eljáró hatóságok szerepkörét.

Kulcsszavak: veszélyes anyag, tárolótartály, tartálysérülés, üzembe helyezés, üzemeltetés, fel-számolás, karbantartás

Not only the construction, but also the commissioning, operation and decommissioning of atmospheric hazardous liquid storage tanks with a capacity of more than 5 m³ are subject to strict regulations. Several authorities are involved in the relevant permitting procedures, but the goal is common, the operator has to prove safe operation. There are many aspects of disaster management and industrial safety in the documentation and control of non-hazardous operation and test methods. The author describes the system of technical and organisational conditions necessary to prove the safe condition, presenting in detail the role of the acting authorities.

Keywords: dangerous substance, storage tank, tank damage, commissioning, operation, elimination, maintenance

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víztechnológiai Kar Víz- és Környezetbiztonsági Tanszék, mérnök, e-mail: berger.adam@uni-nke.hu

1. Bevezetés

A 2009–2019 közötti időszakban mintegy 309 veszélyes anyaggal kapcsolatos baleset következett be. Annak ellenére, hogy a veszélyes technológiák biztonsági színvonala folyamatosan növekszik, a nulla kockázati szint továbbra sem érhető el.² A fenntartható fejlődés, a kapacitásnövelés, a termelésbiztonság egyik kulcskérdése a megfelelő mennyiségű alapanyag rendelkezésre állása. Általánosságban elmondható, hogy napjainkban a szállításban keletkező bizonytalanság miatt egyre több veszélyes anyagokkal foglalkozó üzem, küszöbérték alatti üzem, kiemelten kezelendő létesítmény tervezi új 5 m³-nél nagyobb atmoszférikus veszélyesanyag-tároló tartály (tárolótartály) létesítését. Szakirodalom alapján elmondható, hogy a tartálysérülés kiváltó okai között számos esetben valamilyen mulasztás, meghibásodás szerepel.³ A tipikusnak mondható sérülések többsége a karbantartási munkálatok elvégzésével kiküszöbölhető. Ilyen általános sérülés, hiba például a betonburkolat és a tartályfal közötti hézag, vagy a csatlakozócsonkokon kialakuló repedés.⁴

A katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény (Katasztrófavédelmi törvény) 25. § (1) bekezdésében foglaltak szerint „veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemre, veszélyes anyagokkal foglalkozó létesítményre építési engedély csak a hivatásos katasztrófavédelmi szerv (a IV. fejezet alkalmazásában: iparbiztonsági hatóság) katasztrófavédelmi engedélye alapján adható. Veszélyes tevékenység kizárólag az iparbiztonsági hatóság katasztrófavédelmi engedélyével végezhető”.⁵

A tárolótartály tervezésére, létesítésére vonatkozó információkat – felhívva a figyelmet többek között a „létesítés” és az „építés” definíciók közötti anomáliára, az iparbiztonsági hatóság szerepkörére – *A veszélyes anyag tárolótartály tervezésének katasztrófavédelem-iparbiztonsági aspektusai* című publikációban összefoglaltam. Jelen publikációban a gondolatmenetet továbbvizsem: a tartály használatbavételi engedélyezéséhez, üzemeltetéséhez, karbantartásához, valamint a felszámoláshoz, a tevékenység megszüntetéséhez kapcsolódó legfontosabb ismeretek bemutatásával, kiegészítve azt saját tapasztalatokkal, ajánlásokkal.

A tárolótartályhoz kapcsolódó tevékenység megkezdésénél, illetve az üzemeltetés során a *Budapest Főváros Kormányhivatalának egyes ipari és kereskedelmi ügyekben eljáró hatóságként történő kijelöléséről, valamint a területi mérésügyi és műszaki biztonsági hatóságokról szóló 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendeletben* foglaltak alapján a fővárosi és megyei kormányhivatal hatóságként jár el.⁶ Ugyanakkor a tárolótartály a *Katasztrófavédelmi törvény* 3. §-a alapján veszélyes anyagokkal foglalkozó létesítménynek, a kapcsolódó tevékenység veszélyes tevékeny-

² Cimer Zsolt – Kátai-Urbán Lajos – Vass Gyula: *Katasztrófakockázatok: a településrendezési tervezés szerepe a megelőzésben*. In Hábermayer Tamás (szerk.): *Katasztrófák, kockázatok, önkéntesek*. Szekszárd, Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, 2020. 56–63.

³ Petr Trávníček et alii: *Prevention of an atmospheric storage tank bund failure*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 70. (2021), 104438. 9.

⁴ Lyubomir Zdravkov – Mariya Pantusheva: *Typical damage in steel storage tanks in operation*. *Procedia Structural Integrity*, 22. (2019), 291–298.

⁵ 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról.

⁶ 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendelet Budapest Főváros Kormányhivatalának egyes ipari és kereskedelmi ügyekben eljáró hatóságként történő kijelöléséről, valamint a területi mérésügyi és műszaki biztonsági hatóságokról.

ségnek minősül. Ezért a folyamatban a fővárosi és megyei kormányhivatal mellett az iparbiztonsági hatóság önálló hatóságként jelenik meg. Ez azt jelenti, hogy egy tárolótartály általános értelemben vett használatbavétele során a vízügyi és tűzvédelem jogkörökben a katasztrófavédelem a *veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tároló-létesítményeinek műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről szóló 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendeletben* foglaltak szerint szakhatóságként, iparbiztonsági jogkörben önálló hatóságként jár el.⁷ A publikációban ezért bemutatom a két engedélyeztetési eljárás kapcsolódási pontjait.

2. Tárolótartály üzembe helyezésének engedélyeztetése

A tárolótartály, tárolólétesítmény üzembe helyezésének engedélyeztetési eljárása vonatkozásában több aspektus is érvényesül, amelyeket az alábbiakban ismertetek.

2.1. Katasztrófavédelmi-iparbiztonsági engedélyeztetés

A tervezési fázis végeredményeként az építési engedélyezési dokumentáció alapján készített kiviteli tervek szerint kezdődik meg a tárolótartály elemeinek gyártása, valamint a helyszíni összeszerelés (létesítés).

Az iparbiztonsági szakértő a kivitelezés során folyamatosan felügyeli, hogy a létesítési engedélyezési dokumentációban foglaltak megvalósulnak-e. Amennyiben el kell térni a létesítési engedélyezési dokumentációban foglaltaktól, értékelni kell a változást, meg kell vizsgálni, hogy a mennyiségi kockázatelemzésre milyen hatással van. Már a létesítési engedélyezési dokumentáció elkészítésekor a tervezők az iparbiztonsági szakértővel együttműködve meghatározták az üzemeltetéshez szükséges felügyeleti (monitoring-) rendszerek körvonalait, ugyanakkor a folyamatszabályozás pontos kialakítása – programozása – a kivitelezés során valósul meg. A folyamatirányítási rendszer kialakításánál javasolt látható és hallható előriasztások, figyelmeztetések definiálása, valamint a felügyeleti eszközök meghibásodásának jelzésére a meghibásodás tényéről is hibajelzés beprogramozása. Például túltöltés elleni védelem céljából javasolt több előriasztás, majd végső tiltás, vagy tárolótartályban lévő folyadékszint csökkenésére – a kihegyezett gázérzékelőkön és szivárgásfigyelőkön túl – figyelmeztetés, jelzés programozása, így azonnal észlelhető, ha kitárolási tevékenység nélkül is szintcsökkenés tapasztalható. A folyamatirányítási szabályozásnál javasolt követni a figyelmeztetés – riasztás – tiltás hármas elvet.

A tárolótartály veszélyes anyaggal történő feltöltése előtt a Katasztrófavédelmi törvény 25. §-a szerinti engedélyezési eljárást kell lefolytatni. Az engedélyezéshez szükséges biztonsági dokumentáció elkészítése az alábbiak szerint történik:

- Amennyiben az üzem nem tartozott a Katasztrófavédelmi törvény IV. fejezetének hatálya alá, de a tárolótartály üzembe helyezésével már igen, úgy a státuszának megfelelő biztonsági dokumentáció elkészítése szükséges. A biztonsági jelentés tartalmi

⁷ 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet a veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tároló-létesítményeinek műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről.

követelményeit a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet 3. melléklete a belső védelmi tervét a 8. melléklet, a biztonsági elemzését a 4. melléklet, a súlyos káresemény elhárítási tervét az 5. melléklet tartalmazza.⁸

- Veszélyesanyag-tároló tartály használatba vétele történhet veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemben, küszöbérték alatti üzemben, kiemelten kezelendő létesítményben is. Amennyiben a tárolótartály a Katasztrófavédelmi törvény IV. fejezetének hatálya alá tartozó üzemeltetőnél létesül, meg kell vizsgálni, hogy az üzembe helyezés okoz-e státuszváltozást.
- Amennyiben az új tárolótartály üzembe helyezése státuszváltozást okoz, akkor az új státuszhoz megfelelő típusú biztonsági dokumentációt – felső küszöbértékű veszélyes anyagokkal foglalkozó üzembiztonsági jelentés és belső védelmi terv, alsó küszöbértékű veszélyes anyagokkal foglalkozó üzembiztonsági jelentés és belső védelmi terv – kell a szakértőnek elkészíteni és az iparbiztonsági hatóság részére benyújtani.
- Amennyiben az új tárolótartály üzembe helyezése státuszváltozást nem okoz, a már meglévő biztonsági dokumentációt – biztonsági jelentés és belső védelmi terv, biztonsági elemzés és belső védelmi terv vagy súlyos káresemény-elhárítási terv – kell felülvizsgálni. A felülvizsgálatnak ki kell terjednie a biztonsági dokumentáció teljes tartalmára, az üzem környezetétől kezdve a technológiai információkon és a veszélyeztetés elemzésén át egészen az irányítási rendszerig benne foglalva a védelmi infrastruktúrát.

A biztonsági dokumentáció elkészítésénél, felülvizsgálatánál javasolt kiindulni egy előzetes következményelemzésből, amelynek eredményeként a veszélyeztetett környezet – ahol a halálozás valószínűsége a legsúlyosabb esetben nagyobb, mint 1% – lehatárolható. A továbbiakban a következményelemzéssel lehatárolt, veszélyeztetett területen kell a lakott területet, a gazdálkodó szervezeteket felmérni, tekintettel arra, hogy a mennyiségi kockázatelemzés során a társadalmi kockázat meghatározásakor a népesség elhelyezkedése az egyik meghatározó inputadat.

A biztonsági dokumentációban be kell mutatni a tárolótartály elhelyezkedését, műszaki adatait, amelyhez alapot nyújt a létesítési engedélyezési dokumentáció, valamint az időközben elkészült kiviteli terv. A tárolótartály védelmi és jelzőrendszereinek leírásánál javasolt kitérni a másodlagos védelemre – védőgyűrű/kármentő kialakítás –, valamint az összes folyamatirányítási monitoring-rendszerre, azok szabályozási mechanizmusaira. A használatbavétel előtt ki kell dolgozni a normál és nem normál üzemi állapotokra – így a betárolási, tárolási, kitarolási és a veszélyhelyzeti tevékenységre – vonatkozó technológiai utasításokat. A technológiai utasításokban szerepeltetni kell a folyamatirányítást biztosító monitoring-rendszer elemeket, az azok által generált jeleket – figyelmeztetés, riasztás, tiltás, meghibásodás – és a kapcsolódó operátori intézkedéseket. A technológiai utasításban egyértelműen szabályozni kell a feladat- és hatásköröket, valamint a veszélyhelyzeti intézkedéseket, amelyek a belső védelmi terv alapján is szolgálnak. Bár nem jogszabályi kritérium, de a technológiai utasítás mellett javasolt már

⁸ 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről.

az egyes beépített rendszerelemekre a gyártói iránymutatás és a jogszabályi előírások alapján kidolgozni az éves karbantartási tervet.

A biztonsági dokumentációban a tervezésnél készített veszélyelemzést pontosítani kell a folyamatirányítási rendszer (monitoringrendszer), valamint a védelmi infrastruktúra (például automata oltórendszer) kockázatcsökkentő hatásaival. A belső dominóhatás eredményeit is figyelembe véve azonosítani kell a lehetséges veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleseti eseménysorokat, és meg kell határozni a gyakoriságukat, továbbá következményelemzéssel a lehetséges hatásukat. Számos esetben a gyakoriság- és következményelemzés során műszakilag alátámasztott szakértői becsléseket kell alkalmazni, tekintettel arra, hogy egyes kockázatcsökkentő intézkedések nem, vagy csak nagyon nehezen számszerűsíthetők. A veszélyelemzés végeredményét – halálos hatások, halálozás egyéni kockázata, társadalmi kockázat, környezetterhelés – össze kell vetni a 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet 7. mellékletében szereplő kritériumokkal. Amennyiben a tervezésnél az iparbiztonsági szakértő kellő alapossggal járt el, és a létesítés során a kiviteli tervtől jelentős eltérés nem történt, várhatóan a hatásterületek kisebbek lesznek – hiszen a kockázatcsökkentő folyamatirányítási és monitoringrendszerek figyelembevétele most történik –, a tárolótartály és a kapcsolódó tevékenységek engedélyezhetők.

Használatbavétel előtt – a tárolótartály veszélyes anyaggal történő megtöltését megelőzően – ki kell dolgozni az esetleges veszélyhelyzetek kezelésére (kárelhárítás), valamint a környezet mentesítésére (eredeti állapot visszaállítása) vonatkozó intézkedési sorokat, amelyeket a belső védelmi tervbe kell beépíteni.

A tárolótartály üzembe helyezését megelőzően biztonságtechnikai ellenőrzéseket kell elvégezni, és az eredményeket jegyzőkönyvben rögzíteni. A biztonságtechnikai ellenőrzések körét a 2.3. alfejezet foglalja össze. A jegyzőkönyveket az engedélyeztetés során lefolytatandó helyszíni szemle alkalmával be kell tudni mutatni a hatóság részére.

A hatóság a kérelem elbírálása során vizsgálja egyrészt, hogy az üzem tevékenysége – beleértve az új tartály üzemeltetését – jelent-e a környezetre, a lakosságra nagyobb veszélyeztetést a 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet szerinti kritériumoknál, másrészt az üzemeltető felkészült-e egy esetleges veszélyes anyagokkal kapcsolatos üzemzavar, súlyos baleset elhárítására.

2.2. Műszaki biztonsági és egyéb engedélyeztetési eljárások

A veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tárolólétesítményeinek műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről szóló 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet a létesítésre vonatkozó általános szabályok és követelmények mellett kitér az üzembe helyezésre, üzembe vételre, javításra, átalakításra, időszakos ellenőrzésre és a megszüntetésre is. A rendelet értelmében nemcsak a tárolótartály létesítése, hanem annak üzembe helyezése is hatóságengedély-köteles. Az üzembe helyezés engedélyeztetési dokumentációjában az alábbi elemeknek kell szerepelniük:

1. Kivitelezői nyilatkozat.
2. Az előírt vizsgálatok, ellenőrzések bizonylatai és igazolása:
 - a kivitelezés megfelelt-e a létesítési/átalakítási tervben foglaltaknak;

- alkalmas-e a biztonságos használatra;
 - rendelkezésre állnak-e a tárolótartályok, technológiai szerelvények, tartozékok, csővezetékek és berendezések megfelelőségigazolásai;
 - rendelkezésre állnak-e a technológiai szerelvények, tartozékok bizonylatai.
3. A kisebb hiányosságok, hibák pótlásának vagy javításának teljesítési határideje.⁹

Abban az esetben, ha nem új tárolótartály, tárolólétesítmény üzembe helyezéséről, hanem már az üzemeltetés során keletkező vagy felmerülő hibák javításáról van szó, akkor az üzemeltetőnek a javítást előzetesen be kell jelentenie az engedélyezési hatóság részére. A bejelentésnek tartalmaznia kell a javítási tervdokumentációt, a tervezői nyilatkozatot, és hogy a javítás pontosan mely területre terjed ki (elrendezésre vonatkozó helyszínrajz). Továbbá be kell mutatni a tárolótartály, tárolólétesítmény jelenlegi állapotát és általános műszaki állapotát (műszaki leírás, tervrajz). Végezetül a tervezett átalakítás vagy javítás pontos ismertetése szükséges a tervezett munkálatok részletezésével. Az üzembevételi eljárás során a kérelemnek tartalmaznia kell az üzembehelyezési dokumentáció mellett a tartályvizsgálati jelentést, valamint a kivitelezési dokumentációt, amelynek az alábbi fő részei vannak:

1. kivitelezői nyilatkozat a műszaki dokumentációban foglaltaknak való megfelelőségről;
2. bizonylat a tervező által előírt vizsgálat(ok)ról;
3. jegyzőkönyv a szilárdsági és tömörségi nyomáspróbáról;
4. jegyzőkönyvek, bizonylatok az eredeti állapot helyreállításáról.¹⁰

A hatóság a kérelem elbírálása során:

- vizsgálja, hogy a tárolótartály, tárolólétesítmény a létesítési engedélyben vagy az átalakítási bejelentésben foglaltaknak megfelelően valósult-e meg;
- vizsgálja, hogy a tárolótartály, tárolólétesítmény biztonságos használatra alkalmas állapotban van-e;
- vizsgálja a megfelelőségigazolás meglétét és beazonosíthatóságát mind a tárolótartályok, mind a technológiai szerelvények és tartozékok, csővezetékek és berendezések tekintetében;
- vizsgálja a technológiai szerelvények, tartozékok bizonylatait.

Hasonlóan az iparbiztonsági engedélyeztetéshez, a tárolótartály üzembe helyezését megelőző biztonságtechnikai ellenőrzésekről szóló jegyzőkönyveknek rendelkezésre kell állniuk az engedélyeztetési eljárás lefolytatásához.

A műszaki-biztonsági hatósági felügyeleten kívül az egyes szakági hatóságoknál – például tűzvédelmi kérdéskörben az illetékes területi katasztrófavédelmi kirendeltségnél, környezetvédelmi engedélyeztetés a területileg illetékes környezetvédelmi és természetvédelmi főosztálynál – szintén meg kell kezdeni a hatáskörükbe tartozó berendezések üzembe helyezésének engedélyeztetését. Az engedélyeztetési eljárások egymással párhuzamosan lefolytathatók.

⁹ 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet.

¹⁰ 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet 10. § (1) bekezdés.

2.3. Üzembe helyezést megelőző biztonságtechnikai ellenőrzések

Az üzembe helyezést megelőzően minimum az alábbi vizsgálatok, ellenőrzések elvégzése szükséges:

A tartályok alapozásának, süllyedésének és dőlésének vizsgálata: a tartályalap állapotát szemrevételezéssel, a dőlést és süllyedést geodéziai méréssel kell ellenőrizni.

Tartály szerkezeti vizsgálatai. A berendezésen általában vizuális ellenőrzéssel végzett vagy kezdődő vizsgálat sorozat, amelynek célja a veszélyes meghibásodások feltárása, ellenőrzése, megelőzése, a szerkezet biztonságtechnikai szempontból való megfelelésének megállapítása.

Napjainkban a veszélyes anyagokat tároló tartályokat jellemzően dupla fenékekkel látják el. Ebből adódóan a fenéklemek varratainak ellenőrzésére is ki kell térni. A dupla fenéklemes esetén a vizsgálatokat mind a két lemeznél el kell végezni, hiszen a fenékrész tömörsége csak így biztosítható. A fenéklemek és a fallemek összekötését szolgáló sarokvarratokat a fenékvarratokhoz hasonlóan kell vizsgálni. A tartály építésének befejezését követően a fenéklemek közötti zárt tér ellenőrzése vákuumtartás-vizsgálattal történik.

Az álló hengeres tartályok esetében az építés övenként történik, amely során megfelelő nagyságú táblákat hegesztenek össze. Az alsó öveket jellemzően vastagabb, a felső öveket pedig vékonyabb lemezek felhasználásával alakítják ki. A hossz- és körvarratok ellenőrzése részleges vizsgálattal történik. A tartályok esetében a varrattalálkozások vizsgálata kiemelt jelentőségű, hiszen erőátadás szempontjából a legkritikusabb pontok/helyek közé tartoznak.

Az ellenőrzés első lépése a vizuális és a felületi repedésvizsgálat (mágneses vagy penetrációs), ezt követően a további ellenőrzési vizsgálatok radiográfiai vagy ultrahangos módszerrel végezhető. A radiográfiai módszer csak akkor alkalmazható, ha a tartály falvastagsága kisebb, mint 8 mm. Az ultrahangos vizsgálatot ennél nagyobb falvastagság esetén is lehet alkalmazni. A radiográfias vizsgálat nagy előnye a jó dokumentálhatóság. Az ultrahangos módszer viszont kedvezőbb költséggel és gyorsabb kivitelezhetőséggel rendelkezik.

Az ellenőrzések alkalmával fontos pont azon csövek hegesztési varratainak vizsgálata is, amelyek a tartályokba csatlakoznak. A csatlakozócsonkoknál – és az átmenő csöveknél – a galléros kialakítás terjedt el. Jellemzően túlnyomásos eljárással történik a gallér és az általa takart terület tömörségvizsgálata. Az eljáráshoz egy, a galléron erre alkalmas menetes furat készítése szükséges. Ehhez a furathoz történik a kompresszor, illetve a nyomásmérő csatlakoztatása.¹¹

Tömörégi próba. A tömörségi próba a hitelesítés legnagyobb töltetén, 24 órán keresztül történő nyomástartásból áll. A próba során figyelni kell a folyadékszintet és a palást szivárgásmentességét. Mérősúlyos mérőszalaggal történik a folyadékszint mérése. A 4 órás periódusokban elvégzett mérés bázispontja a tartálytetőn kiválasztott bázissík. A próba során mért értékek rögzítése jegyzőkönyvben történik.¹²

A tartály tömörségi próbájával együtt a hitelesítést is el kell végezni.

¹¹ R.U.M. Testing: *Tartályok és nyomástartó edények vizsgálata.*

¹² Petrol Plus Kft.: *Tartályvizsgálat.*

A műszerek vizsgálata. Az üzembe helyezést megelőzően ellenőrizni kell a szintmérőket, szintkapcsolókat és szintmutatókat, a túltöltésgátló berendezést, túltöltésjelzőt, az előjelzőt, a szintmérőket, a mintavevőt, a hőmérsékletmérőt és a nyomásmérőt.

A szintmérők, szintkapcsolók és szintmutatók vizsgálatánál a szintmérőműszer-érzékelő szabad mozgásának, a műszerkábel mozgáslehetőségének, a műszerúszó tömítettségének, a szintmérőzsinór épségének és a működésszabványának az ellenőrzésére kell kitérni.

A túltöltésgátló berendezés esetében a rezgővilla (vagy úszó) folyadékba történő merítésével elő kell idézni a túltöltés jelenségét, és figyelni kell, hogy a betárolóvezetékbe épített motoros szerelvény az elzárást megvalósította-e vagy sem. Ellenőrizni kell továbbá az operátorhelyiségben a túltöltésjelek meglétét, valamint helyességét.

A túltöltésjelzőt v. előjelzőt a tartály palástjából ki kell szerelni, és a rezgővilla (vagy úszó) folyadékba történő merítésével elő kell idézni a túltöltés jelenségét. Ellenőrizni kell a visszajelző helyiségbe érkező túltöltésjelek meglétét, valamint helyességét.

A tartályon lévő szintmérő berendezés működőképességét, valamint a mért értékek helyességét ellenőrizni kell szemrevételezéssel, valamint a szintmérő berendezés operátorhelyiségbe történő visszajelzését és a kijelzett értékek helyességét, beleértve a tartálynál a „nulla” értékét. A mintavevő vizsgálata során a védőcsövet, a mintavevőhuzalt, a hőmérők mozgatásának lehetőségét és a mintavevőfedél működőképességét és a tömítés állapotát kell ellenőrizni.

A működési próba során ellenőrizni kell, hogy a hibákról visszajelzés – általában hang- és fényjelzés – érkezik-e az operátorhelyiségbe. Az eredményt jegyzőkönyvben kell rögzíteni. Az ellenőrzéskor javasolt a tartály üzemeltetésére vonatkozó technológiai utasítást is kontrollálni, felülvizsgálni.

Villámvédelmi felülvizsgálat. A villámvédelmi vizsgálatot az *Országos Tűzvédelmi Szabályzatról* szóló 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet (OTSZ) írja elő, az érvényes szabvány alapján kell elvégezni. A villámvédelmi vizsgálat célja a villámhárító berendezés alkalmasságának megállapítása a villámok felfogására és levezetésére, a villámlás káros hatásaival szemben a létesítmény és az ember megvédésére. A létesítés közben már ellenőrizni kell azokat az alkatrészeket, amelyeket eltakarunk, majd a villámhárító átadása előtt el kell végezni az első felülvizsgálatot.¹³

Villamos és érintésvédelmi szabványossági felülvizsgálat. Új villamos berendezés beüzemeltetése előtt a vonatkozó szabvány szerinti első felülvizsgálattal, valamint az OTSZ szerinti tűzvédelmi szabványossági felülvizsgálattal kell igazolni, hogy a villamos kivitelezés a terveknek megfelelően és szabványosan lett elvégezve. Az első felülvizsgálat alkalmából csak hibátlan jegyzőkönyv adható ki. Ha a felülvizsgáló valamilyen szabványossági hibát talál, a hibát ki kell javítani, és csak utána lehet a jegyzőkönyvet kiállítani az első felülvizsgálatról.

Érintésvédelmi szabványossági felülvizsgálatot a *munkaeszközök és használatuk biztonsági és egészségügyi követelményeinek minimális szintjéről* szóló 10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet szerint minden esetben el kell végezni új berendezés vagy villamos kivitelezés létesítésekor a munka befejezése után, a használatbavétel előtt. Az érintésvédelmi vizsgálat célja, hogy kiszűrje és megelőzze a villamos berendezések érintéséből származó áramütéses baleseteket. A baleset jellemzően úgy következik be, hogy a villamos berendezés külső burkolatának érinté-

¹³ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról.

sekor a munkavállalót áramütés éri. A burkolatnak üzemszerűen feszültségmentesnek kellene lennie, meghibásodás, zárlat következtében azonban feszültség alá kerülhet. Az érintésvédelmi szabványossági felülvizsgálat vizuális ellenőrzésből és műszeres mérésből áll.¹⁴

Tűzjelző és beépített automata oltóberendezés. A tűzjelző és a beépített automata oltóberendezés üzembe helyezését az illetékes területi katasztrófavédelmi kirendeltség engedélyezi. Az engedélyezéshez benyújtandó engedélyezési dokumentáción túl – amelynek tartalmi elemeit az OTSZ, valamint a „Beépített tűzoltó berendezések tervezése, telepítése” című tűzvédelmi műszaki irányelv tartalmazza – az engedélyezés teljes körű meggyőződéssel teljesül, ha az alábbi ellenőrzése megtörtént: oltóberendezés működőképessége, jelzések tesztelése, tűzjelző-vezérlések, amennyiben az oltóberendezést működtetik, megvalósulási tervtől való eltérés, üzemeltési napló, indokolt esetben tartalék szórófejek megléte, kapcsolási rajz, zónakiosztási rajz, feliratok megléte, tűzgátló átvezetések.

Munka- és tűzvédelmi üzemeltetői bejárás. Az üzembe helyezés előtt a munkavédelmi és tűzvédelmi szakirányú jogosultsággal rendelkező szakértőkkel helyszíni bejárást kell tartani, amelyeknek ki kell terjedni a biztonságos használati szabályok ellenőrzésére, többek között a lépcsőkre, létrákra, korlátokra, pódiumokra, a feliratok és a tűzvédelmi infrastruktúra meglétére.

3. A tárolótartály üzemeltetése

A tárolótartály, tárolólétesítmény üzemeltetése során több aspektus is érvényesül, amelyeket az alábbiakban ismertetek.

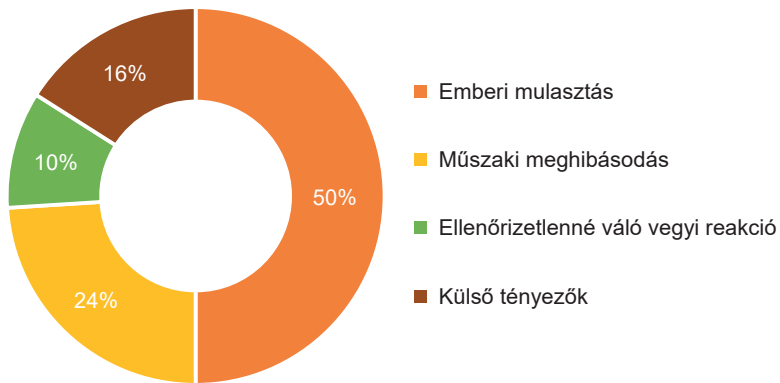
3.1. Katasztrófavédelmi-iparbiztonsági aspektusok

A tárolótartály üzemeltetése során a biztonsági dokumentációban foglaltakat kell betartani. A tárolótartályban töltetcsere, más veszélyes anyag tárolása csak akkor hajtható végre, ha a változásnak nincs veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleset kockázatát növelő vagy védelmi rendszert érintő hatása. Ellenkező esetben a töltetcsere az új feltételeket bemutató katasztrófavédelmi-iparbiztonsági engedélyezést követően lehetséges.

A katasztrófavédelmi hatóság a tárolótartályok üzemeltetését rendszeresen ellenőrzi, amely kiterjed a tárolótartályban tárolt veszélyes anyag típusára és mennyiségére, a tárolótartály műszaki állapotára szemrevételezéssel, valamint a karbantartási jegyzőkönyvek vizsgálatával, a technológiai utasítás(ok) meglétére és az érintett munkavállalók oktatására.

Az ellenőrzések tárgyköre összhangban van az iparban bekövetkező balesetek tapasztalati eredményeivel, miszerint a balesetek döntő részét emberi mulasztás, műszaki meghibásodás vagy több tényező együttes ráhatása okozza (1. ábra).

¹⁴ 10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet a munkaeszközök és használatuk biztonsági és egészségügyi követelményeinek minimális szintjéről.



1. ábra. A súlyos ipari balesetek elsődleges okai

Forrás: a szerző szerkesztése Kátai-Urbán Lajos et alii: *Módszertani segédlet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos ipari balesetek elleni védekezés területi és helyi feladatainak ellátásához*. Budapest, BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság – Akaprint Kft., 2005.

Ahogy az 1. ábrán is látható, a karbantartással, illetve annak hiányosságaival összefüggő események kiváltotta műszaki meghibásodás magas részarányt képvisel az ipari baleseteket kiváltó okok között. Egy adott üzem szempontjából azonban az öregedés egy komplex aspektusú jelenség. Ennek oka, hogy az nem merül ki az eszközök, berendezések, különböző szerkezetek fizikai öregedési jelenségeiben, hanem az eljárások, technológiák, a szervezeti rendszer és a személyi állomány elavulását, öregedését is magában hordozza. A fentiekben leírtakkal támasztható alá, hogy az időszakos hatósági ellenőrzések során az adott üzemet érintő öregedési aspektusok átfogó ellenőrzése, vizsgálata szükséges.¹⁵ A műszaki állapot nyomon követésére szolgáló, illetve karbantartási rendszerek vizsgálata során alkalmazandó főbb kérdések a következők:

- Meghatározták-e a biztonság szempontjából kritikus berendezéseket a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleseti eseménysorok vonatkozásában?
- A biztonság szempontjából kritikus berendezések, műszerek és alkatrészek nyilvántartása könnyen hozzáférhető módon és naprakészen van-e tartva?
- Az üzemeltető determinisztikus módszerek vagy állapot-nyomonkövetés alapján határozza meg a berendezések, műszerek, eszközök élettartamát?
- A berendezések, alkatrészek, műszerek cseréjére vonatkozóan alakítottak-e ki ütemtervet?
- Leosztották-e (munkakörökhöz és/vagy üzemeltetési egységekhez) az egyes karbantartási felelősségeket és feladatokat? (Például külső karbantartási munka megrendelése; belső karbantartási feladat elrendelése; elvégzett karbantartási munka ellenőrzése, jóváhagyása; a karbantartó személyzet képzése, oktatása, felkészítése [külső és belső esetén is].)
- Kiépítettek-e monitoringrendszert a meghibásodások előjeleinek jelzésére, a meghibásodások jelentésére?

¹⁵ Cimer Zsolt – Tóth László: Irányítási rendszer és a vállalati menedzsment szerepe a súlyos ipari balesetek megelőzésében. In Hábermayer Tamás (szerk.): *Katasztrófák, kockázatok, önkéntesek*. Szekszárd, Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, 2020. 49–55.

- A jogszabályokban, szabványokban előírtak és az üzemeltetési tapasztalatok alapján alakítottak-e ki tesztelési, felülvizsgálati és karbantartási rendszert?
- Az üzemeltető az egyes tesztek, felülvizsgálatok és karbantartások során számol-e a lehetséges várható károsodásokkal (például kopás, vibráció, atmoszferikus kibocsátás)?
- Meghatároztak-e megelőző karbantartási munkákat, azok eljárásai ki vannak-e alakítva, illetve azok épülnek-e a súlyos baleseti veszély- és kockázatelemzésre?
- Az eljárások figyelembe veszik-e az egyes berendezések, műszerek, tárolótartályok, alkatrészek, eszközök műszaki sajátosságait, valamint a sajátos üzemeltetési körülményeket?
- Kialakítottak-e monitoringrendszert arra vonatkozólag, hogy az egyes tesztelési, felülvizsgálati, karbantartási programok végrehajtása dokumentálható, ellenőrizhető, visszakereshető legyen?
- Kellő figyelmet kapnak-e az üzemeltető részéről a nehezen hozzáférhető, sajátos technológiai körülmények között üzemelő berendezések, a kritikus pontok, műszaki állapotok?¹⁶

A fentiekben leírt ellenőrző kérdések is rávilágítanak arra, hogy a karbantartásnak kiemelt jelentősége van a súlyos ipari balesetek megelőzésében. A tárolt veszélyes anyag, a tárolótartály, tárolólétesítmény, a kapcsolódó műszaki berendezések, infrastruktúrák és környezeti tényezők alapján különböző karbantartási stratégiák alkalmazhatók, melyek összefoglalását az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Karbantartási stratégiák

	Hibajavító	Előirányzott	Állapotfüggő	Megelőzés
Alkalmazási terület	kisebb kár, kiesés esetén; nagy szórású hibamentes működés esetén	nagy kockázattal járó kiesés esetén; állandó élettartamú rendszerlemek esetén; előkészíthető munkálatok esetén	mérhető, elemezhető munkálatok esetén; nagy kockázatú meghibásodások esetén; gazdaságossági szempontok érvényesülése esetén	kiemelt kockázatú meghibásodás esetén; műszakilag megoldható munkálatok esetén
Információigény	gyors és azonnali	előzetesen és pontosan begyűjtött	állandó vagy ciklikus adatszolgáltatás az állapotról	üzemeltetés közben nincs
Szervezés	gyors beavatkozás; csomagterv szerinti	tervezett; ütemezett	van idő a felkészülésre, az állapotvizsgálat kiemelt jelentőségű	üzemeltetés közben nincs
Szervezet	helyi, univerzális, szakképzett, kreatív	központosított; külső erők bevonása	központosított; külső erők bevonása	üzemeltetés közben nincs
Vezetés szerepe	gyors döntés	tervezés	stratégiai vezetés	üzemeltetés közben nincs

Forrás: a szerző szerkesztése Mesics Zoltán – Laczkó Levente – Domján Iván: *Útmutató a műszaki állapot nyomon követéssel és a karbantartással kapcsolatos biztonsági irányítási rendszerlemek hatékony kialakításához és működtetéséhez*. Budapest, BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 2020 alapján

¹⁶ Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság: *Ellenőrzési terv a BM OKF területi szervei részére a 2021. évi veszélyes üzemekkel kapcsolatos iparbiztonsági hatósági ellenőrzési feladatok végrehajtására*. Mellékletek, 4/A számú melléklet.

A tárolótartály, tárolólétesítmény és a kapcsolódó berendezések, eszközök állapotának ellenőrzése során szemrevételezéssel jól észrevehető az állapotromlás vizuális jelei (például korrózió, törés, repedés, süllyedés). Ugyancsak szemrevételezéssel ellenőrizendő a tárolótartályra és a tárolóanyagra vonatkozó megfelelő felirat, jelölés megléte. A biztonságos működés, valamint a műszaki állapot nyomon követése és a karbantartás jelző-/előjelző rendszerének üzemképessége érdekében kiemelt figyelmet kell fordítani a segédenergia-vezetékek, az üzemi közeli vezetékek, illetve a kiszolgáló infrastruktúra ellenőrzésére, működőképességének fenntartására.

A tárolótartály, tárolólétesítmény üzemeltetése során rendkívüli eseménynek minősül a környezetkárosodás vagy környezetveszélyeztetés, illetve az idegen ingatlanon, létesítményben vagy egyéb vagyontárgyban bekövetkezett károkozás. Ekkor az üzemeltetőnek kötelessége minden olyan tevékenységet, intézkedést megtenni, amely a veszélyeztetés szintjének és a kár mértékének minimalizálására irányul. Ez jelentheti a helyszín megváltoztatását is annak érdekében, hogy az emberi élet, testi épség, jelentős érték megóvása biztosított legyen, azonban ezt minden esetben dokumentálni kell. A rendkívüli esemény bejelentését követően a hatóság kivizsgálást indít, amelynek során megállapítja a rendkívüli esemény okát és körülményeit. Fontos kiemelni, hogy a hatóság a vizsgálat befejezése előtt is hozhat tiltó, korlátozó intézkedéseket, valamint a tárolótartály, tárolólétesítmény további használatát és az ismételt üzembe helyezés feltételeit is engedélyhez kötheti.¹⁷ A dominóhatások, külső kockázatok, veszélyforrások vizsgálata során ellenőrizendő főbb tényezők a hőszugárzás, a túlnyomás, a repeszhatás, valamint az esetleges más fizikai, kémiai hatás és annak mértéke, amelyek dominóhatáshoz vezethetnek.

3.2. Műszaki biztonsági aspektus

Annak érdekében, hogy az üzemeltetés során a tárolótartály, tárolólétesítmény továbbra is megfeleljen a jogszabályi és a Műszaki biztonsági szabályzatban előírt biztonsági követelményeknek, időszakos hatósági ellenőrzéseket kell tartani. A meghatározott periódusonként végrehajtott belső tisztítás, szerkezeti vizsgálat és tömörségi próba jelenti a tárolótartály, tárolólétesítmény időszakos ellenőrző vizsgálatát, amelyet az üzemeltetőnek kell elvégeztetnie. Az időszakos ellenőrző vizsgálat módját a Műszaki biztonsági szabályzat határozza meg. Az általánosságban előírt ciklusidő belső tisztítás és szerkezeti vizsgálatok esetében 10 év, tömörségi próba vonatkozásában pedig 5 év. Az üzemeltető kérelmére a hatóság a soron következő szerkezeti vizsgálat és/vagy belső tisztítás elvégzésének határidejét – jogszabályban meghatározott feltételek együttes teljesülése esetén – meghosszabbíthatja, amely fekvő hengeres szimplafalú, és állóhengeres szimplafenekű tartályok esetében 1 évet jelent, és maximum két alkalmat.¹⁷

¹⁷ 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet.

4. A tárolótartály üzemeltetésének szüneteltetése, megszüntetés

A Katasztrófavédelmi törvény 27. § (2) bekezdése szerint az üzemeltető az iparbiztonsági hatóság számára köteles haladéktalanul bejelenteni a veszélyes anyagokkal foglalkozó létesítmény, például tárolótartály – ideiglenes leállítását, végleges bezárását.¹⁸

4.1. Katasztrófavédelmi-iparbiztonsági aspektusok

A veszélyes tevékenység ismételt folytatásakor az üzemeltető köteles a 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet szerint meghatározott felülvizsgálati eljárást kezdeményezni az iparbiztonsági hatóságnál. A veszélyes tevékenység csak akkor tekinthető befejezettnek, ha a tárolótartályból a veszélyes anyagot elszállították, és a tartály tisztítása is megtörtént. A tisztítatlan tárolótárolótartály ugyanolyan veszélyesnek tekinthető a benne lévő gőzök miatt, mint a töltött tartály. A veszélyesanyag-elszállítást és a tárolótartály-tisztítást dokumentáltan kell tudni igazolni.

4.2. Műszaki biztonsági aspektus

A tárolótartály, tárolólétesítmények esetében megkülönböztetünk szüneteltetési és megszüntetési állapotot. Az első esetben időszakos üzemen kívüli állapot áll fenn, azaz a tárolótartály, tárolólétesítmény egésze vagy csak egy része 12 hónapot meghaladóan van üzemen kívüli állapotban. A második eset pedig a végleges felszámolását jelenti.

A tárolótartály, tárolólétesítmény szüneteltetését az azt megelőző 15 napon belül be kell jelenteni a hatóság részére, valamint a bejelentéshez mellékelni kell a tárolótartály-tisztítási jegyzőkönyvet. A szüneteltetés ideje alatt az üzemeltető ugyan mentesül az időszakos ellenőrző vizsgálatok alól, azonban a hatóságnak benyújtott ismételt üzembe vételi bejelentésnél csatolni kell a megfelelő eredményű és 3 hónapnál nem régebbi időszakos ellenőrző vizsgálati jegyzőkönyvet. A szimpla falú, fekvőhengeres tartályok esetében a bejelentés további melléklete a tartályvizsgálói szakvélemény és a tömörségi próba jegyzőkönyve. A szüneteltetés csak és kizárólag úgy történhet, ha a tárolótartály, tárolólétesítmény, azok része vagy berendezése a használatból ki van vonva, ha a tartály üres, kitisztított, valamint a működő technológiai rendszerről mechanikusan leválasztott állapotban van.¹⁹

Az üzemeltetés szüneteltetéséhez hasonlóan a megszüntetés is a hatóságnak tett előzetes bejelentés alapján történik, és a bejelentéstől számított 2 éven belül meg kell szüntetni. A bejelentés részét képező műszaki dokumentáció főbb tartalmi elemei a következők:

- tervezői nyilatkozat;
- az adott időpontban érvényes állapotot bemutató elrendezési rajz;
- térképmásolat, amelyen a megszüntetendő tartály, tárolólétesítmény fel van tüntetve;
- a megszüntetendő tartályról, tárolólétesítményről, valamint a megszüntetés módjáról való egyszerűsített műszaki leírás;

¹⁸ 2011. évi CXXVIII. törvény.

¹⁹ 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet.

- tartálytisztítási jegyzőkönyv(ek);
- a megszüntetési jogosultságot igazoló dokumentum;
- tartályvizsgálói szakvélemény.²⁰

5. Összefoglalás

A veszélyesanyag-tároló tartály üzembe helyezése, azaz a veszélyes tevékenység megkezdése szigorú jogszabályi feltételhez kötött. A Budapest Főváros Kormányhivatalának egyes ipari és kereskedelmi ügyekben eljáró hatóságként történő kijelöléséről, valamint a területi mérésügyi és műszaki biztonsági hatóságokról szóló 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendeletben foglaltak alapján a veszélyes folyadékok és olvadékok – nyomástartó berendezésnek nem minősülő – tárolótartályai és tárolólétesítményei üzembe helyezésének engedélyezését hatóságként a fővárosi és megyei kormányhivatal végzi. A műszaki-biztonsági hatósági felügyeleten kívül az egyes szakági hatóságoknál – például tűzvédelmi kérdéskörben az illetékes területi katasztrófavédelmi kirendeltségnél, környezetvédelmi engedélyeztetés a területileg illetékes környezetvédelmi és természetvédelmi főosztálynál – szintén meg kell kezdeni a hatáskörükbe tartozó berendezések üzembe helyezésének engedélyeztetését.²¹

A fővárosi és megyei kormányhivatal mellett a Katasztrófavédelmi törvény hatálya alá tartozó üzemeknél az engedélyezési eljárásban a katasztrófavédelem-iparbiztonság önálló hatóságként jelenik meg, a veszélyes tevékenység az engedélye nélkül nem kezdhető meg.

Az engedélyeztetési eljárások egymással párhuzamosan folytathatók, közös kapcsolódási pont, hogy az üzemeltetőnek igazolnia kell a tárolótartály és a kapcsolódó berendezések veszélytelen működését.

A tárolótartály üzemeltetését az engedélyezési dokumentációban és a hatályos engedélyben foglaltak szerint kell végezni. Az üzemeltetés során kardinális kérdés a karbantartás, amelynek végrehajtása egyrészt üzemeltetői feladat, másrészt szaktevékenység, dokumentált megtörténtét a hatóságok folyamatosan ellenőrzik.

A tárolótartály megszüntetése ugyancsak engedélyköteles; hasonlóan az üzembe helyezéshez az üzemeltetőnek szintén dokumentáltan igazolnia kell a veszélytelen állapot helyreállítását, azaz a veszélyes anyag elszállítását, valamint a tárolótartály tisztítását.

A tárolótartály létesítésére, üzembe vételére, üzemeltetésére és megszüntetésére vonatkozó szigorú előírásoknak, valamint a hatóságok folyamatos ellenőrzésének köszönhetően hazánkban tárolótartály sérülése miatt a lakosságot is érintő veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleset nem történt.

²⁰ 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet 12. § (1) bekezdés.

²¹ 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendelet.

Felhasznált irodalom

- Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság: *Ellenőrzési terv a BM OKF területi szervei részére a 2021. évi veszélyes üzemekkel kapcsolatos iparbiztonsági hatósági ellenőrzési feladatok végrehajtására*. Melléklet, 4/A számú melléklet. Online: www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2021-01/73325.pdf
- Cimer Zsolt – Kátai-Urbán Lajos – Vass Gyula: Katasztrófakockázatok: a településrendezési tervezés szerepe a megelőzésben. In Hábermayer Tamás (szerk.): *Katasztrófák, kockázatok, önkéntesek*. Szekszárd, Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, 2020. 56–63.
- Cimer Zsolt – Tóth László: Irányítási rendszer és a vállalati menedzsment szerepe a súlyos ipari balesetek megelőzésében. In Hábermayer Tamás (szerk.): *Katasztrófák, kockázatok, önkéntesek*. Szekszárd, Magyarország: Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, 2020. 49–55.
- Kátai-Urbán Lajos – Bíróné Ősz Julianna – Bojti Imre et alii: *Módszertani segédlet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos ipari balesetek elleni védekezés területi és helyi feladatainak ellátásához*. Budapest, BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság – Akaprint Kft., 2005. Online: www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/608-modszertani-segedlet-a-veszelyes-anyagokkal-kapcsolatos-sulyos-ipari-balesetek-elleni-vedekzes-teruleti-es-helyi-feladatainak-ellatasahoz.pdf
- Mesics Zoltán – Laczkó Levente – Domján Iván: *Útmutató a műszaki állapot nyomon követéssel és a karbantartással kapcsolatos biztonsági irányítási rendszer elemek hatékony kialakításához és működtetéséhez*. Budapest, BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 2020. Online: www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2020-01/68231.PDF
- Trávníček, Petr – Petr Junga – Jan Kudělka – Luboš Kotek: Prevention of an atmospheric storage tank bund failure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 70. (2021), 104438. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104438>
- Zdravkov, Lyubomir – Mariya Pantusheva: Typical damage in steel storage tanks in operation. *Procedia Structural Integrity*, 22. (2019). 291–298. Online: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.01.037>

Jogi források

2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről
- 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
- 10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet a munkaeszközök és használatuk biztonsági és egészségügyi követelményeinek minimális szintjéről
- 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendelet Budapest Főváros Kormányhivatalának egyes ipari és kereskedelmi ügyekben eljáró hatóságként történő kijelöléséről, valamint a területi mérésügyi és műszaki biztonsági hatóságokról
- 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet a veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tárolólétesítményeinek műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről

Internetes források

- Petrol Plus Kft.: *Tartályvizsgálat*. Online: <http://petrolplus.hu/szolgáltatások/tartalyvizsgalat/>
- R.U.M. Testing: *Tartályok és nyomástartó edények vizsgálata*. Online: https://rumtesting.hu/o_tartaly.html

Balla Tibor¹  – Padányi József² 

Műszaki kiválóságok: Hollán Ernő

Engineer Geniuses: Ernő Hollán

Hollán Ernő szakmai munkájának minden területén maradandót alkotott. Az 1848–49-es forradalom és szabadságharc idején katonaként, a közéletben államférfiként, az iparban a vasúti hálózat elkötelezett fejlesztőjeként, a tudományos életben a hadtudomány meghatározó alakjaként. Munkásságára emlékezünk a sorozat következő írásában.

Kulcsszavak: erődítés, vasúti hálózat fejlesztése, hadtudomány

Ernő Hollán had outstanding achievements in all aspects of his professional life. These include his military service during the 1848–1849 Revolution and War of Independence, his deeds as a statesman, his devotion to the improvement of the railway network as an industrialist, and last but not least his scientific achievements in the field of military science. His legacy is remembered in this article.

Keywords: fortification, improvement of railway network, military science



1. ábra. Hollán Ernő honvédelmi államtitkár, 1870

Forrás: Vasárnapi Ujság, 17. (1870), 48. 613.

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, kutatóprofesszor, e-mail: balla.tibor@uni-nke.hu

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, egyetemi tanár, e-mail: padanyi.jozsef@uni-nke.hu

1824. január 13-án született Szombathelyen, római katolikus vallású családban. Apja Josephus Hollán orvos, anyja Johanna Stohl. 1854. október 8-án megnősült, felesége Békássy Antónia, egy Veszprém vármegyei földbirtokos lánya volt, házasságukból nem született gyermek.

A szombathelyi elemi iskolai, valamint gimnáziumi tanulói éveinek lezárulása után, 1839. szeptember 26-án kezdte meg tanulmányait a különösen jó hírnévnek örvendő, 1717 óta működő bécsi császári-királyi Mérnöki Akadémián (K. k. Ingenieurakademie),³ ahol 1844-ben kitűnő eredménnyel végzett.⁴ Magyarul és németül tökéletesen beszélt és írt, azonkívül franciául és angolul is jól beszélt.⁵

1. Katonatiszti és tábournoki pályafutása

Katonatiszti pályafutását 20 évesen, 1844. október 21-én kezdte meg a császári-királyi hadseregben hadmérnök alhadnagyként. 1845. augusztus 21-én hadmérnökkari hadnaggyá nevezték ki, és a komáromi erődítési igazgatósághoz helyezték, ahol hadmérnökként bekapcsolódott a monostori erőd építésének előmunkálataiba. 1847. január 22-én hadmérnökként a lemergi műszaki és erődítési igazgatósághoz osztották be, 1847. augusztus 27-én pedig hadmérnökkari főhadnaggyá léptették elő beosztásában.⁶

Kérésére 1848. június 19-én áthelyezték a Kassán megalakult 9. honvédszászlóaljhoz, ahol századtiszként működött, majd 1848. július 1-jén századosná lépett elő új alakulatánál és állomáshelyén. A legendássá vált vörössípkás zászlóaljjal 1848. augusztus 4-én indult el Kassáról, majd a Bánságba érkezve augusztus 21–22-én Fehértemplom védelmére rendezkedett be, ahol a szerb felkelőcsapatok két (augusztus 23-án és 30-án lezajlott) támadását verte vissza sikeresen alakulatával. 1848. szeptemberében a Szenttamás elleni hadműveletekben tüntette ki magát, majd a Verbász környéki Feketehely–Törökszállás megerősítési munkálatait vezette.

1848. október 20-án tábournoki őrnagyi előléptetésben részesült a bánsági hadtestnél. 1848. november 21-én Kossuth Lajos, az Országos Honvédelmi Bizottmány elnöke a hadászati fontosságú Pétervárad várerődítési igazgatójává nevezte ki. Kossuth bizalmasaként azt a feladatot kapta, hogy a pétervárad erődöt minden külső támadás és belső árulás ellen megvédje. Hollán a reá bízott feladatot műszaki, katonai és erkölcsi szempontból egyaránt kiválóan megoldotta. Többek között feladatahoz tartozott, hogy a Péterváradon nélkülözhető fegyvereket, illetve a magyar szabadságharc vezetőihez és ügyéhez nem hű, áruló tiszteket Pestre küldje. A vár védműveit határozott és hatékony intézkedéseivel hamar megerősítette, az ott állomá-

³ Az intézetben olyan magyar katonák tanultak, mint Bolyai János matematikus, Török Ignác honvéd tábournok, aradi vértanú, Kőszeghy Martony Károly tábournok, a gázálc megalkotója, Asbóth Lajos honvéd ezredes, Bayer József honvéd ezredes.

⁴ Hajós György: *Hollán Ernő – a katona, a mérnök, az államférfi*. Budapest, Építészeti Tájékoztatói Központ Kft., 2006. 7–9.

⁵ Hadtörténelmi Levéltár, Tiszti anyakönyvi lapok 3205/1890. (HL AKVI 3205/1890).

⁶ Kiss Gábor: *Tábournokok a Magyar Királyi Honvédségben, 1868–1914*. Budapest, HM Hadtörténelmi Intézet és Múzeum, 2016. 103.; valamint Egervári Ödön: *Magyar királyi honvéd tábournokok albuma 51 arcképpel és életrajzzal. I. kötet*. Pest, Atheneum Nyomda, 1870. 57–58.

szó csapatok szellemét is helyreállította. A Dunán átívelő hidat a folyón keresztben áthúzott láncokkal védte az esetlegesen leúsztatott gyújtóhajókkal szemben.

Hollán több alkalommal is kérte Kossuthot, hogy helyezték át harcoló alakulathoz, mivel a csatamezőn szeretne küzdeni hazájáért. Kérését az Országos Honvédelmi Bizottmány elnöke 1849. február 15-én írt levelében a következőkkel hátrította el: „Pétervárad – melynek bírását a magyar nemzet egyedül csak önnek köszönheti – nagy fontosságú situációjánál fogva hazánkban Thermopylaeje, s hogy azt csak addig tarthatjuk részünkre biztosítottnak, amíg tudjuk, hogy Leonidások öröködnék felette.”

Hollán Ernőt érdemeiért 1849. február 12-én alezredessé léptették elő. Jelentős szerepet játszott abban, hogy Csuha Antal vezérőrnagy, Pétervárad várparancsnoka a szerbek elől az erődbe menekült, de dinasztiahú császári-királyi tisztek nyomása ellenére sem adta át az erődöt márciusban az ostromló császári csapatoknak. Hollán maga is részt vett a Pétervárad körzetében folyó harcokban, amelyekben személyes bátorságáról is több ízben tanúbizonyságot tett. 1849. március 28-án a várat ostromló, Karlóca és Kameniec között állást foglalt császári csapatok ellen vezényelt kirohanást. Május elején a Mamula tábornok által vezetett dandár által emelt földsáncokkal szemben egy előretolt ütegállást építettek.⁷ Május 13-án a Jellasics katonái által megtámadott üteg elpusztítását Hollán egy honvédszázad élén megakadályozta, és az üteget újra hatalmába kerítette.

Szolgálatiért 1849. április 28-án a Magyar Katonai Érdemrend ideiglenes III. osztálya kitüntetést kapta, 1849. július 1-jén pedig ezredessé nevezték ki beosztásában. Az 1849. augusztus 13-i világi fegyverletétel után Pétervárad (Komárommal együtt) még tovább tartotta magát. Péterváradon 8000 fős védősereg, 392 löveg, 4700 kézfegyver rekedt a császáriak ostromgyűrűjében. Miután meggyőződtek a fegyverletétel valódiságáról, Kiss Pál ezredes, a vár parancsnoka szeptember 5-én Hollánt bízta meg a vár átadása részleteinek megtárgyalásával. Hollán elérte, hogy Péterváradot ugyanazon feltételekkel engedjék át, mint amelyeket a komáromi vár átadásával kapcsolatos tárgyalásokon is elértek. Az erőd átadása szeptember 7-én történt meg. A várórség amnesztiában részesült, és fegyver nélkül szabadon elvonulhatott, a tisztek a kardjukat is megtarthatták. Az 1848 előtt a császári-királyi hadseregben szolgált tisztek és legénység közül, akik igényelték, útlevelet kaphattak külföldre, vagy szabadon hazatérhettek. A tisztek egyhavi illetményt, a legénység 10 napi zsoldot kapott osztrák bankjegyekben. A sebesültek és a fekvőbetegek megfelelő ellátást kaptak. Általában mindenki megtarthatta vagyonát.⁸

1869. április 18-án szabadságot állományú (szolgálaton kívüli) honvéd ezredessé nevezték ki a magyar királyi honvéd gyalogságnál, a honvédesküt 1869. október 30-án tette le Budán. Részt vett a szegedi dandárgyakorlatokon, és támogatta a pesti magyar királyi egyetemen a hadtudományi tanfolyam megnyitását. Az 1875-ös esztendő során sorsa még szorosabban összefo-

⁷ Lazar Mamula tábornok (1795–1878) maga is az erődítés szakértője volt, így a korabeli lapokban többször is a mester és ifjú tanítványának összecsapásaként értékelték a Péterváradért folytatott harcokat.

⁸ Hajós (2006) i. m. 10–13.; valamint Ács Tibor: Hollán Ernő, az MTA Hadtudományi Bizottságának első elnöke. In Ács Tibor: *Haza, hadügy, hadtudomány. Hadtörténeti és tudománytörténeti írások*. Budapest, Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományszervező Főosztály, 2001a. 189–190.; illetve Bona Gábor: *Tábornokok és törzstisztek az 1848/49. évi szabadságharcban*. Budapest, Heraldika, 2000. 383–384.

nódott a honvédséggel. 1875. október 23-án soron kívül előléptették szabadságolt állományú, alkalmazásban nem lévő császári és királyi vezérőrnaggyá a Magyar Királyi Honvédségnél.

1876. január 19-én, a tényleges állományba történt áthelyezéssel egyidejűleg, a székesfehérvári V. honvédkerület parancsnokává nevezték ki. 1876-ban a Budapesten megrendezett 9. Nemzetközi Statisztikai Kongresszuson ő képviselte a honvédséget. Beosztásában eredményesen működött, s 1881. május 1-jén császári és királyi altábornaggyá léptették elő. 1887. július 15-től fél éven át betegszabadságon tartózkodott, majd 1888. január 31-én saját kérelmére nyugállományba helyezték.⁹

Milyen katona, milyen parancsnok és milyen ember volt? Álljon itt egy rövid vélemény erről: „A nyugalmazott altábornagy 12 évi működése alatt fontos hivatásbeli nehéz kötelmeit helyesen felfogva, parancsnoki állását mindég méltóságteljesen, higgadt szellemi megfontolással párosult buzgó tevékenységgel töltötte be, példás magatartásával s személyes befolyásával pedig alárendjeit – saját hatáskörüknek korlátozása nélkül – célirányos és öntudatos közreműködésre ösztönözte.

A polgársággal szemben Hollán mindig előzékenyen viselkedett. Rendkívül finom, szívélyes és lekötelező modora gyorsan megnyerte és mindenkorra biztosította a polgári körök rokonszenvét és tiszteletét, szilárd, tiszta jelleme pedig azok becsülését és szeretetét, mely érzelmeknek a polgárság nem egy alkalommal adott őszinte s méltó kifejezést.

Hollán eme példás magatartásának – úgyszintén a szükséghez képest parancsnoki minőségben gyakorolt közvetítő intézkedéseinek – lényeges és elismerést érdemlő befolyása volt azon jó egyetértés létesítése és fenntartása körül, mely a polgári és katonai elem között az egész kerületben uralkodik.

Mint bajtárs Hollán példa gyanánt szolgált tisztikarának, mely emlékét mindenkorra hálaérzettel s híven őrzendi meg.”¹⁰

1900. május 28-án hunyt el budapesti lakásán. A lakóépület udvarán, tábornoki díszegyenruhában, érckoporsóba fektetve ravatalozták fel. Ravatalánál lerótták kegyeletüket a századforduló magyar politikai, katonai és tudományos elitjének képviselői. Katonai díszkíséret mellett vitték koporsóját a Keleti pályaudvarra, ahonnan vonaton Békásra szállították. Május 30-án egyházi szertartás mellett helyezték örök nyugalomra az Ybl Miklós tervei szerint, csúcsíves, neogót stílusban, 1869-ben épült, harangtoronnyal díszített, Békás-Timapusztán található családi sírkápolnában.¹¹ Koporsóját a kápolna jobb oldali fala középső sorának első fülkéjében helyezték el, amelyet vörös márványlappal fedtek le. A Magyar Mérnök- és Építész Egylet a sírkápolnán belül síremléket készíttetett Hollánnak, amelyet 1903. október 31-én adtak át az özvegynek, s az ünnepségen az MTA is képviseltette magát. A Czigler Győző építész által tervezett síremlék a fedőlap feletti részen helyezkedik el. Középen Hollán Ernő tábornoki egyenruhás bronz képmása (Szécsi Antal szobrászművész alkotása), két oldalán pedig falfestményként egy-egy nemtő áll, egyik a mérnök tárcsás lécét, másik a katona pallosát tartja kezében. A faliképeket

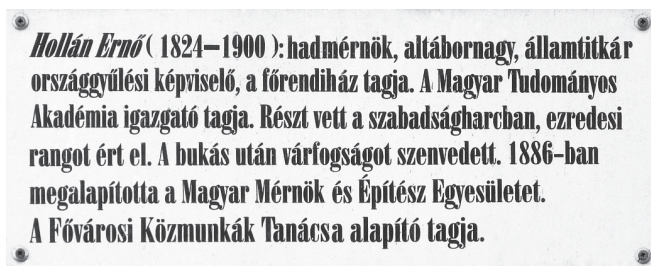
⁹ HL AKVI 3205/1890., valamint Kiss (2016) i. m. 103.

¹⁰ *Pesti Hírlap*, 10. (1888), 32. 3.

¹¹ Hajós (2006) i. m. 25.

Kölber Dezső festette. Az emlékmű alatt tábla áll: „Hollán Ernő alapító elnökének a Magyar Mérnök- és Építész Egylet” felirattal.

Az egylet kezdeményezésére 1901-ben emléktáblát helyeztek el szombathelyi szülőházán. Később az utcát is Hollánról nevezték el. Budapest XIII. kerületében szintén egy utca viseli nevét és egy emléktábla őrzi emlékét (2. ábra).



2. ábra. Emléktábla Budapest XIII. kerületében, a Hollán Ernőről elnevezett utcában

Forrás: a szerzők felvétele

2. Mérnöki és politikusi tevékenysége

A bécsi császári-királyi Mérnöki Akadémián¹² vetette meg mérnöki és műszaki tudásának, a vasutak iránti vonzódásának elmélyült alapjait. Az 1848–49-es szabadságharc bukása után Hollán visszatért Szombathelyre, és rendőri felügyelet alatt civil mérnöki tanulmányokat, majd 1850-től magánmérnöki tevékenységet folytatott. Feljelentés alapján elfogták, s 1851 végétől 1852 májusáig tartó, féléves bécsi börtönbüntetés után szabadult. Hazatérése után földmérő és tagosító munkát végzett Széchenyi Pál marcali birtokán. Az alagcsövezés és a műszaki talajjavítás terén is úttörő szerepet vállalt, az első ilyen jellegű vállalkozást ő hozta létre Magyarországon.¹³

Jelentős szerepet játszott a dunántúli vasúthálózat kialakításában (résztt vett a Budáról Kanizsán át az országhatárig építendő vasútvonal területének kisajátítási munkáiban), és az e témában írt, a magyar érdekeket védő cikkeit rendszeresen publikálta a magyar sajtóban a közvélemény tájékoztatására. A *Magyarország vasúthálózatának rendszere* című munkája 1856-ban magyarul és németül is megjelent.¹⁴

¹² VI. Károly császár 1717. december 24-én rendelte el a császári-királyi Mérnöki Akadémia létrehozását Bécsben, amely a Habsburg Birodalom első katonai tanintézete volt. (A bécsújhelyi katonai akadémiát csak 1752-ben alapította meg Mária Terézia.) Falai között képezték a hadsereg számára a hadmérnök tiszteteket, de ez az intézmény adta a polgári mérnököket is az államnak. 1755–1769 között a Mérnöki Akadémia császári-királyi Mérnöki Iskola néven működött tovább Gumpendorfban. Az 1770 és 1851 közötti időszakban ismét császári-királyi Mérnöki Akadémia néven működött Bécsben. 1851-től 1869-ig császári-királyi Műszaki Akadémia néven Klosterbruck bei Znaim településen, 1869 és 1918 között pedig a császári-királyi Műszaki Katonai Akadémia nevet viselve Bécsben működött. Vö.: Heinrich Schalk: *250 Jahre militärtechnische Ausbildung in Österreich*. Wien, Erwin Metten, 1967. 17–46.

¹³ Hajós (2006) i. m. 15–16.

¹⁴ Ács (2001a) i. m. 190.

1861-ben a Déli Vasút Társaság kötelékébe lépett, mint annak magyarországi állandó képviselője, főfelügyelői címmel.¹⁵ Buda-Pestre költözve aktív közéleti tevékenységet folytatott, és sikerrel terjesztette az ország érdekeit szolgáló közlekedésügyi elképzeléseit. Az 1860-as években sokat tett a műszaki tudományok és a műszaki értelmiség fejlesztéséért. 1867. május 21-től 1885. június 7-ig volt a saját kezdeményezésére 1866. augusztus 5-én megalakult Magyar Mérnök Egylet elnöke (1871-től Magyar Mérnök- és Építész Egylet). Azt követően az egylet tiszteleti és választmányi tagjaként ténykedett a közjó érdekében. Az elnöki posztról leköszönő Hollán munkáját így méltatták a korabeli tudósítás szerint: „Gulácsy Béla emelt ezután szót. Meleg elismeréssel adózik Hollán Ernő érdemeinek, az egyesületi ügyek körül kifejtett tevékenységét lelkes szavakban vázolja, 43 tag nevében indítványozza, hogy Hollánnak jegyzőkönyvileg szavaztassék köszönet és választassék az egyesület tiszteleti tagjául. Az indítvány első része egyhangúlag nagy lelkesedéssel elfogadtatott, míg a másik része az alapszabályok értelmében titkos szavazás alá bocsátatott. A szavazás eredménye kihirdettetvén, elnök kijelenti, hogy Hollán Ernő 310 szavazattal (egyetlen ellenző szavazat nélkül) választatott meg tiszteleti tagul.”¹⁶

Az egylet az 1885. évi közgyűlésen Hollán-pályadíjat alapított, annak szabályzatát 1912. január 26-án fogadták el.¹⁷ A szabályzat értelmében „[a] jutalmazásban részesülnek elsősorban a technikai tartalmú és a szerző önálló kutatásán, vagy elméletén alapuló közlemények; másodsorban pedig a mérnöki és építési kar fejlődését érdeklő, közgazdasági, vagy esetleg általános jellegű cikkelek”.¹⁸

1865-től a Deák-párt színeiben vett részt az országgyűlés munkájában, Vas vármegye felsőöri kerületének országgyűlési képviselőjeként.¹⁹

Hollán Ernő tagja lett annak a bizottságnak, amelyet a képviselőház a kiegyezésre vonatkozó törvényjavaslat elkészítésére küldött ki, illetve az előmunkálatok kidolgozására alakított 15 fős szűkebb bizottságnak is. Főként a katonai, a kereskedelmi és a közlekedési ügyekre vonatkozó pontok kidolgozásában vett részt. 1867. április 6. és 1870. június 8. között a Közmunka- és Közlekedésügyi Minisztérium államtitkára volt, amellel megtartotta képviselői mandátumát is. 1869-ben, 1872-ben és 1875-ben ismét a felsőöri kerület képviselőjévé választották. 1870–72 között tagja volt a Fővárosi Közmunkák Tanácsának, ahová a kormány delegálta.

Maradandót alkotott az ország vasúti hálózatának, műszaki és igazgatási szervezetének kiépítésében és fejlesztésében. 1867 és 1870 között – Hollán államtitkári működése idején – Magyarországon összesen 1411 km hosszúságú új vasútvonalat helyeztek üzembe, továbbá 15, külön törvénycikkben szabályozott vasútvonal műszaki előkészítését végezték el.

Gondolkodását, átfogó stratégiai szemléletét bizonyítja az 1870-ben elmondott beszéde, amelyben a fiemei vasút megépítése mellett érvelt: „És részemről egyénileg merem állítani, hogy azok nézetéhez csatlakozom, kik Magyarország szempontjából a fiemei vasút kiépítését első rendű és fő fontosságú kérdésnek tekintik. Meggyőződésem szerint ugyanis szükséges:

¹⁵ Hajós (2006) i. m. 31.; valamint Egervári (1870) i. m. 57–58.

¹⁶ *Az Építési Ipar*. 1885. június 14./24. 247.

¹⁷ Hajós (2006) i. m. 46–50., 54.

¹⁸ *Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönye*, 46. (1912), 5. 87.

¹⁹ Egervári (1870) i. m. 58.

1-ször: hogy a nemzetnek a délnyugati irányban legyen legalább egy olyan útja, mely sehol idegen földet nem érintve, tehát sehol idegen befolyásnak alá nem rendelve, saját területünkön egyenesen a tengerig vezessen; mert kell továbbá

2-szor: hogy e vasút, a suezai csatornának történt megnyitása után minél hamarabb elkészüljön, minthogy az említett ténynél fogva az adriai tenger, s vele a fiumei kikötő okvetlenül nagyobb szereplésre van hivatva; mert

3-szor: e nemzedék nem teheti ki magát azon súlyos vádnak, miszerint elmulasztotta volna felhasználni azon elemeket, melyekkel a természet Fiumét és annak közvetlen vidékét megáldotta, melyek azt a legvirágzóbb tengeri s egyéb iparos tevékenységnek kifejtésére képesítik; mert

4-szer: tengeri kereskedésünk emelkedése a megfelelő hajóhadnak védelmét nem nélkülözheti, védelmi állásra pedig, valamint tengerészeti telepekre általában alkalmasabb helyet, mint Fiumében, az egész adriai tengerparton nem találunk; mert végre

5-ször: mindazon veszélyek, melyek egy korábbi hagyomány szerint a fiumei öblöt és kikötőt a kereskedelmi hajózás folytatására alkalmatlanná teszik, azon mesék országába tartoznak, melyből ezen öböl a quarnero azaz húsfaló elnevezését nyerte, melyek a tudomány és hajózás kifejllettsége által rég meg vannak haladva.²⁰

Részese volt annak az országgyűlési vitának, amelynek során elfogadták az 1868. évi véderőről szóló XL., a honvédségről szóló XLI., valamint a népfelkelésre vonatkozó XLII. törvénycikket.²¹

1870. július 9-től 1870. november 17-ig a Honvédelmi Minisztériumban dolgozott. 1870. november 18-tól a Honvédelmi Minisztérium államtitkára volt. Gróf Andrássy Gyula és gróf Lónyay Menyhért miniszterelnökök és egyben honvédelmi miniszterek mellett hozzáértő szakemberként működött, és feltétlen bizalmukat élvezte. Államtitkári tevékenységének idejére esett többek között a honvédtisztek képzését lehetővé tevő, a budapesti Ludovika Akadémia felállításáról és a működéséhez szükséges feltételek biztosításáról szóló 1872. évi XVI. és XVII. törvénycikkek elfogadása, valamint a Ludovika Akadémia 1872. novemberi megnyitása; az ország területének hét honvédkerületre tagolása (vagyis a honvéd katonai közigazgatás alapjainak megteremtése); a honvédség fejlesztése során a honvéd lovasság erejének 8 századdal való megnövelése és osztályokba szervezése, a szórólövegek rendszeresítése és a szórólövegosztályok létrehozása.²² Államtitkárságának időszakára esett a Vác környékén 1871 őszén tartott első nagy honvédségi hadgyakorlat lebonyolítása is.

1872. december 4-én lemondott államtitkári posztjáról. Képviselőként azonban azután is részt vett a törvényhozás munkájában. Főként a honvédelemmel kapcsolatos törvényjavaslatok tárgyalása során szólalt fel, így például a honvéd tüzérség felállítása,²³ a fegyvernem megszervezéséhez szükséges lövegek beszerzése mellett tette le a voksát. 1874 márciusában beválasztották az országgyűlés véderőbizottságába, majd 1874 októberétől annak elnöke lett. Képviselőként

²⁰ *Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönye*, 4. (1870), 2. 99.

²¹ Ács (2001a) i. m. 190–191.

²² A szórólövegekre vonatkozóan lásd bővebben: Balla Tibor: A magyar királyi Honvédség szórólöveg-alakulatainak története. *Hadtörténelmi Közlemények*, 105. (1992), 2. 65–96.

²³ A honvéd tüzérség megszervezéséről lásd részletesen: Balla Tibor: A magyar királyi honvéd tüzérség, 1912–1914 I. *Hadtörténelmi Közlemények*, 106. (1993), 3. 18–45.; valamint Balla Tibor: A magyar királyi honvéd tüzérség, 1912–1914 II. *Hadtörténelmi Közlemények*, 106. (1993), 4. 43–74.

tagja lett az Osztrák–Magyar Monarchia közös ügyeit tárgyaló magyar delegációnak. Parlamenti munkásságának 1876 januárjában vége szakadt, amikor is honvédkerületi parancsnokká nevezte ki az uralkodó. A főrendiházban az 1888-as véderővita alkalmával, 1894-ben pedig a polgári házasság kötelezővé tételéről szóló törvényjavaslat vitájában elhangzott felszólalásával aratott nagy sikert. Összesen 73 alkalommal hangzott el felszólalása az országgyűlés képviselőházában, hatszor pedig annak főrendiházában.²⁴

Érdemes két hozzászólását kiemelni ebből. 1872. január 17-én Hollán Ernő mint a Honvédelmi Minisztérium államtitkára fejtette ki véleményét a katonai büntetőjog témájában, mind az anyagi, mind az eljárási kódex kérdésében. Az eljárási szabályok kapcsán kifejtette, hogy „miután a katonaságnál fennálló bünfenyítő perrendtartás még a múlt századból eredvén, a mai jogtudomány követelményeinek immár meg nem felel: szükségessé vált, mielőtt az általános bünfenyítő perrendtartás alapján, egészen új katonai bünfenyítő perrendtartás készítették: ennek feltűnő hiányait egy novellaris törvény által kiigazítani. És mivel ezen javítás jótéteményében a honvédségen kívül a hadseregnek is részesülnie kell: ennél fogva ezen novellaris törvényjavaslat az igazságügyminiszter és a hadügyminiszter közreműködésével készítettett, és a katonai bíróságok hatásköréről szóló törvényjavaslattal együtt fog a T. háznak bemutatni”.

Az anyagi kódexszel kapcsolatban Hollán kifejtette, hogy „a katonai büntető törvénykönyvnek azonnali szerkesztése annál kevésbé mutatkozott szükségesnek; mert az általános büntető-törvénykönyv még a háznak bemutatva nem volt, melynek pedig mint általános törvénynek, a speciális katonai büntető törvényt meg kell előznie [...]. Azontúl a katonai büntető-könyv csakis katonai büntények és vétségekre fog szorítkozhatni, a mi által minden bírói illetékességi conflictus előre el lesz hárítva”. A jogalkotás ezen a téren aztán annyira ráérőssé vált, hogy egészen 1930-ig erre nem is került sor.²⁵

A véderővel kapcsolatos, 1899-ben lefolytatott vitáról így tudósított a korabeli sajtó: „Inkább a szónokok egyénisége, mint az előadott nézetek újdonsága adja meg a súlyt azon felszólalások némelyikének, melyek a főrendek tárgyalásának első napján elhangzottak. Különösen Hollán Ernő és Széchen Antal gróf beszédei tarthatnak igényt általánosabb figyelemre. Hollán Ernő leginkább katonai szempontból szolt a törvényjavaslathoz. Megjegyzé, hogy a reform a véderőnek nem annyira extensív kiterjesztésére, mint inkább intenzívebb fejlesztésére fekteti a fősúlyt. Akár a hadi és béke létszámot, akár az évi hadügyi kiadásokat az állam területéhez, lakóinak számához vagy az adóterhekhez viszonyítva hasonlítsuk össze, köztünk és más államok közt mindig csak az fog kitűnni, hogy az elkerülhetetlen szükségesnek határain túl nem terjeszkedtünk és ha pusztán csak a numericus számokat vesszük tekintetbe, azt fogjuk tapasztalni, hogy a mi seregünk, aránylag véve, minden többi európai seregek közt, egész a legújabb időkig, számra a leggyengébb volt.

²⁴ Hajós (2006) i. m. 22–25., 42–43., 57–58.

²⁵ Kelemen Roland: *A katonai igazságszolgáltatás Magyarországon 1867–1949. Egy elfeledett jogterület a jogalkotás tükrében.* Budapest, Gondolat, 2017. 41.

Ha pedig szomszédaink hadi készülődéseit, politikai célzatait számba vesszük, úgy meg van adva annak mértéke, hogy miképpen és minő terjedelemben kelljen állami érdekeink megvédéséről gondoskodnunk. A legfőbb garancia mindenestre abban keresendő, hogy a honvédelmet, függetlenül, minden más tekintettől, önállólag szervezzük. A kormány tehát csak kötelességének felelt meg, midőn e fontos törvény megújításánál figyelmét kiterjesztette arra is, hogy hadi készültségben szomszédaink által túl ne szárnyaltassuk magunkat."²⁶

Olyan gondolatok jelennek meg ebben a néhány sorban, amelyek ma is érvényes szempontok. Benne van ebben a honvédelem megszervezésének soha át nem ruházható kötelessége, a hazáért érzett felelősség és a szükségés és elégséges haderőfejlesztés szemlélete.

3. Elismerései, címei

Katonatiszti és politikusi tevékenységének elismeréseként több kitüntetést is kapott. 1849. április 28-án a Magyar Katonai Érdemrend ideiglenes III. osztályát, 1870. június 8-án az Osztrák Császári Lipót Rend lovagkeresztjét kapta (utóbbit a Közmunka- és Közlekedésügyi Minisztériumban elért eredményeiért), 1871. október 30-án pedig az uralkodó legfelsőbb megelégedését nyilvánította ki számára a honvédség szervezése és fejlesztése terén szerzett érdemeiért.²⁷ Az 1872. december 4-én a Honvédelmi Minisztérium államtitkári posztjáról történt távozása alkalmából Ferenc József az Osztrák Császári Lipót Rend parancsnoki keresztjét adományozta Hollánnak.

1882. január 23-án apja jóvoltából kapott magyar nemesi címet, és használhatta a kislődi előnevet.²⁸

1886-ban a magyar országgyűlés főrendiházának élethossziglani tagjává választották, 1888. január 26-tól belső titkos tanácsosi címet viselt.²⁹ 1896-ban a kolozsvári Ferencz József Tudományegyetem díszdoktorrá avatta. Tagja volt a Pest Városi Honvédegyletnek is.³⁰

²⁶ *Magyar Polgár – Kolozsvár*, 3. (1889), 85.

²⁷ HL AKVI 3205/1890.

²⁸ Gerő József: *A királyi könyvek. Az I. Ferenc József és IV. Károly király által 1867-től 1918-ig adományozott nemességek, főnemességek, előnevek és címek jegyzéke*. Budapest, szerzői kiadás, 1940. 87.

²⁹ HL AKVI 3205/1890.

³⁰ Hajós (2006) i. m. 24–25.



3. ábra. Hollán Ernő síremléke Békáson

Forrás: a szerzők felvétele

4. Katonatudósként és a Magyar Tudományos Akadémia tagjaként kifejtett tevékenysége

Hollán katonateoretikusi tevékenysége és írásai, a hadtudomány művelését irányító és szervező munkája, az MTA Hadtudományi Bizottsága elnökeként 1883 és 1898 között kifejtett tevékenysége nélkül a 19. század második felének magyar hadtudománya nem érhetne volna el az európai színvonalat. 1848-tól 1899-ig a nemzeti honvédelmet szolgáló magyar hadtudomány fejlesztésén munkálkodott. Első ismert hadtudományi munkáját *A honban felállítandó hadi képezde ügyében* címmel, 1848. június 14-én megküldte Mészáros Lázár hadügyminiszternek. Kéziratban fennmaradt művében kihangsúlyozza, hogy az önálló magyar tisztképzésre létrehozandó hadiakadémia gyalogsági, lovassági és tüzérségi alapképzést és felsőfokú vezérkari, mérnökkari és tüzérségi oktatást hajtson végre az általa felsorolt tárgyak segítségével öt éven át az ifjaknak. Művében megindokolja azt is, miért kellene létrehozni a magyar hadsereg technikai karát.

A *Pesti Napló* 1867. január 9-i számában adta közre eredeti értekezését *A magyar védelmi rendszerről*, amelyben megállapítja: „[A] kor követelménye és a haza védelme nemzeti hadsereget feltételez és a védelmi rendszernek gyökeres átalakítására van szükség. S a Monarchia keretei között a magyar nemzet is ragaszkodik állhatatosan ezen fontos jogaihoz, bármilyenek legyenek az újabb védelmi rendszernek formái vagy elemei, s azért jogosan követeli, hogy

a védelmi rendszernek szabályozása vagy átalakítása, Magyarországra nézve, mindenkor csak a magyar törvényhozás beleegyezésével történjék.”

Az 1871-ben a Magyar Tudományos Akadémia számára készített, *A magyar hadirodalom és kutatás fejlődése* című tanulmányában a magyar hadtudomány művelésének és kiadványainak 1867 és 1871 közötti helyzetét tekintette át. Az 1876-ban a *Ludovika Akadémia Közlönyében* megjelent, *A m. kir. honvédség, a modern hadseregszervezés szempontjából tekintve* című tanulmányában a honvédség állapotát vizsgálta meg.³¹

A Magyar Tudományos Akadémia nagygyűlése, értékelve Hollán 1854-ben Bécsben kiadott *Mértan alapvonalai tudományosan rendszerezve* című, a magyar felsőoktatás számára készített művét, (amelyet később Marczibányi-díjban részesítettek)³² és elismerve addigi tudományos munkásságát, 1858. december 15-i ülésén megválasztotta őt az V. Matematikai és Természettudományi Osztály levelező tagjává. 1859. május 16-án tartotta meg székfoglalóját *Az újabb szerkezetű vasúti hidakról, különösen a rács-rendszerről* című előadásával. Később részt vett az Akadémia épületével kapcsolatos döntés meghozatalában.

Tudományos tevékenységének elismeréseképpen a Magyar Tudományos Akadémia 1861. december 15-én rendes tagjává választotta. 1862. május 26-án olvasta fel székfoglaló értekezését, *A vasutak keletkezése s általános elterjedése felett* címmel.

Hollán folyamatosan részt vett az MTA, valamint a Matematikai és Természettudományi Osztály bizottságainak munkájában. 1880-ban Szombathelyen rendezték meg a Magyar Orvosok és Természetvizsgálók XXI. Nagygyűlését, amelyen az Akadémiát egy hatfős küldöttség képviselte, élén Hollán Ernővel.

Az 1880-as években a honvédségnél folyó (s addig főleg a Ludovika Akadémia keretei között végzett) nemzeti szempontú hadtudományi kutatómunka elősegítésére Kápolnai Pauer István ezredes, levelező tag az MTA 1882. május 22-i összes ülésén hadtudományi bizottság felállítását kezdeményezte. A javaslatának megvizsgálására kiküldött bizottság elnöke Hollán Ernő altábornagy rendes tag lett, aki 1882. október 22-i előterjesztésében helyeselte a testület megalakítását a Matematikai és Természettudományok Osztálya bizottságaként. Az MTA 1883. május 16-i ülésén létrehozta a III. osztályhoz tartozó első, majd háromévenként újraválasztott Hadtudományi Bizottságot,³³ amelynek 1883. június 18-án lezajlott alakuló ülésén elnökké egyhangúlag Hollán altábornagyot választották, előadója Kápolnai Pauer István ezredes, tagsága pedig 12 neves civil akadémikus lett.³⁴

³¹ Ács (2001a) i. m. 191–192.

³² Jellemző Hollán gondolkodására és elkötelezettségére, hogy a díjjal járó 50 aranyat azonnal visszaadta az Akadémiának, magának csak az „érmét, mint becses emléket” tartotta meg. *Vasárnapi Ujság*, 6. (1859), 4. 46.

³³ A Hadtudományi Bizottság feladata a hadtudományok fejlődési folyamatának figyelemmel kísérése, a magyar hadtörténelmi események tanulmányozása és szakszerű ismertetése, a hadművészet fejlődésére vonatkozó adatok gyűjtése, feldolgozása és kiadása, a hadtudományi remekművek magyarra fordíttatása és kiadása volt. Vö.: Ács Tibor: *A magyar katonai gondolkodás irányzatai, 1849–1899*. In Ács Tibor: *Haza, hadügy, hadtudomány. Hadtörténelmi és tudománytörténelmi írások*. Budapest, Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományos Főosztály, 2001b. 175.

³⁴ Ács Tibor: *A Magyar Tudományos Akadémia és a hadtudomány a század második felében*. In Ács Tibor: *Haza, hadügy, hadtudomány. Hadtörténelmi és tudománytörténelmi írások*. Budapest, Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományos Főosztály, 2001c. 178.

A honvédelemmel, a honvédség szervezésével kapcsolatos nézeteit rendszeresen megosztotta. Jó példa erre a Ludovika Akadémián tartott felolvasása 1876 februárjában, amikor a honvédség fejlődéséről beszélt. Fontosabb gondolatait érdemes idézni: „Már a legelső felállítás alkalmával, parancsnoktól kezdve le az utolsó honvédig, mindegyik törekedett megtenni a maga részéről mindent, hogy a felmutatható eredmény, úgy az intézménynek, valamint a nemzetnek is becsületére váljék. E nemes törekvésből fejlődött ki az az önérték és az jóakarát, mely a szervezés művét lényegesen megkönnyítette és a kiképzésben meglepő sikert mutatott fel [...]]. A tiszti karnak a keret-rendszer mellett általában – a honvédségnél pedig kivált – sokkal nagyobb hivatása van, mint bárhol másutt. Ő benne van specifice képviselve a katonai képzettség, s ezzel együtt a katonai becsület is. Mig ez a kettő a közönséges katonánál csak azon időre terjed ki, mig fegyverben áll, a katonai becsület átöleli a tisztnek egész életfolyamát, még akkor is, ha már a fegyvert letette. A különböző korosztályok legénysége gyors váltakozással követi egymást, nincs meg körében az a szilárd mag, mely körül a katonai szellem és a hadi erény megerősödhetnek. Mindennek tehát a tiszti karból kell kiindulnia, akik a honvédségben egyedül képezik a stabil elemet, kik e szerint közvetítők azon katonai szellemnek, mely a csapatokat át kell, hogy hassa. Azon benyomásoknak, melyeket az ifjú katona rövid szolgálati ideje alatt magába vesz, meggyengülés nélkül kell benne tovább fejlődniük hosszú szabadság ideje alatt. Ez után képezhetni oly férfias nemzetet, mely a tartós nemzeti nagyság elemeit rejti magában. Ez irányban oktatólag és lelkesítőleg hatni, feladata a tisztnek. Ám ezt csak úgy teljesítheti, ha hivatásának magasztosságától át van hatva, ha képes is annak megfelelni, s ha kötelességszerűleg ennek szenteli teljes erejét.”³⁵

Hollán és a Hadtudományi Bizottság életében jelentős esemény volt, hogy 1887-ben megjelent a *Magyar Katonai Évkönyv 1886-ra* című kötet, és az 1887. december 3-i ülésen döntöttek egy hadtörténelmi folyóirat rendszeres megjelentetéséről.

Hollán egyik elvülhetetlen érdeme, hogy 1888 márciusától 1897 végéig a *Hadtörténelmi Közlemények* folyamatosan megjelent. 10 kötetét 48 füzetben, 432 nyomtatott ívben adták közre, tudományos értékeit pedig elismeréssel fogadták a hazai és a külföldi katonai, valamint tudományos körök. Hollánnak két tanulmánya is megjelent a lapban.

A Magyar Tudományos Akadémia Hadtudományi Bizottsága elnöki tisztségét 15 éven át (1898-ig) töltötte be (összesen ötször: 1883-ban, 1886-ban, 1889-ben, 1892-ben és 1895-ben választották meg), aktív résztvevőként irányítva az akadémiai hadtudományi munkát. Elnöki tevékenységének eredményeként a honvédelmi miniszter engedélyezte katonatisztek részvételét segédtagokként a Hadtudományi Bizottság munkájában, egy honvédtiszt kutatónak a bécsi Hadilevéltárba történő vezénylését 1888-tól. 1888. november 20-án a Hadtudományi Bizottság tagjai elhatározták hadtörténelmi pályázatok évenkénti kiírását, valamint Zrínyi Miklós hadtudományi műveinek új kiadását. Kezdeményezték a Magyar Nemzeti Múzeum új osztályaként egy Magyar Hadtörténelmi Múzeum létesítését.³⁶ 1890-ben meghirdették a *Magyar Hadtörténelmi Könyvtár* beindítását, Zrínyi Miklós hadtudományi munkái Rónai-Horváth Jenő

³⁵ *Pesti Napló*, (1876), február 12.

³⁶ Ács (2001a) i. m. 193.

szerkesztésében pedig 1891-ben láttak napvilágot. Hollán nevéhez köthető, hogy az MTA Hadtudományi Bizottságát 1893-ban bekapcsolták az *Ezredéves kiállítás* előkészítő munkálataiba. Alkotó módon, elnökként vett részt a millenniumi kiállítás hadviselés, hadszervezés csoportjában, segítve a kiállítás hadtörténelmi részének megtervezésében, előkészítésében, s 1896-ban annak sikeres megvalósításában.³⁷

1890. január 27-én az MTA Matematikai és Természettudományi Osztálya tiszteleti tagnak választotta meg, ugyanakkor Hollán megemlékező felolvasást tartott Tóth Ágostonról, az Akadémia elhunyt tagjáról, akit ő ajánlott 1872-ben levelező tagnak. 1892. május 5-én az MTA Igazgatói Tanácsába választották (Jókai Mórral és Fraknói Vilmosmal együtt), egyúttal tagja lett a Széchenyi-bizottságnak is. Végredeletében 2000 koronát hagyott a Magyar Tudományos Akadémiára, amelynek haláláig tagja maradt.³⁸

Rávilágít gondolkodásának racionalitására a következő mondata, amely megtalálható a Magyar Tudós Társaság évkönyvében és Hollán a *Mértan alapvonalai tudományosan rendszerezítve* című könyve borítójának hátoldalán is: „A tapasztalás és mindennapi gyakorlat, mely tudomány nélkül csak csupa testi ügyességet szülhet, mathematicai tudományokkal párosítva, ellátatlan pályát nyit fel az emberi elmének, a maga találóssága, ítélő tehetségének élessége, s egész ereje kifejtésére.” Megfontolandó gondolatok ezek a tudományokat tisztelő, a tudást nem lebecsülő, azaz remélhetőleg mindenki számára. Különösen fontos lenne ennek elfogadása napjainkban, amikor a Magyar Honvédség – és benne a katonai felsőoktatás – átalakítása újranyíró van.

5. Főbb művei

Önálló kötetek:

- *Mértan alapvonalai tudományosan rendszerezítve*. I–III. kötet. Bécs, 1854.
- *Magyarország vasúthálózatának rendszere*. Bécs, Sommer Lipót, 1856.
- *Das künftige Eisenbahn-System für Ungarn und Siebenbürgen in seinen Beziehungen zum Welthandel und den inneren Verkehr*. Wien, Verlag Druck und Papier von Leopold Sommer, 1856.
- *Zur ungarischen Frage. Eine Denkschrift von einem ungarischen Patrioten*. Leipzig, Verlag Steinacker, 1859.
- *Tóth Ágoston emlékezete*. Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, 1890.

Folyóiratcikkek:

- Az újabb szerkezetű vasúti hidakról, különösen a rácsrendszerről. (Akadémiai székfoglaló.) *Akadémiai Értesítő*, (1859). 323–353.
- A m. kir. honvédség a modern hadseregszervezés szempontjából tekintve. *Ludovica Akadémia Közlönye*, (1876), 2.

³⁷ Ács (2001a) i. m. 194.

³⁸ Hajós (2006) i. m. 51–52.; valamint Ács (2001c) i. m. 178.

- Mária Terézia és hadvezérei. *Hadtörténelmi Közlemények*, (1888). 173–176.
- Károly főherceg, mint katonai író. *Hadtörténelmi Közlemények*, (1889). 517–545.
- A felsoroltakon kívül még 33 egyéb cikke vagy beszéde jelent meg különféle lapokban.³⁹

Hollán Ernő kiemelkedően gazdag katonai, politikai, műszaki és hadtudományi tevékenységével és életművével előkelő helyet biztosított magának nemzetünk és a magyar tudomány legjobbjai között, hiszen változatos élete során minden téren kimagasló eredményeket ért el. Ahogy Czigler Győző, a Magyar Mérnök és Építész Kamara elnöke fogalmazott Hollán emléktáblájának avatásán, szombathelyi szülőházánál: „Megmondjam-e, ki volt Hollán Ernő? Aki mint a város szülötte, annak őslakóitól átöröklötté a valódi római polgári erényeket: a hazaszeretetet, a kötelességtudást, a jellemzilárdságot, az erős, törhetetlen akaratot, és a rendíthetetlen bátorságot. Ezek a nemes tulajdonságok képesítették Őt arra, hogy minden téren, a hová a sors, a haza érdeke, a király, vagy a polgártársainak bizalma vagy családja nemesebb érdeke állította, mint vezér működött.

Mi mindannyian ösmerjük életét, áldásos működését és azt felejteni nem fogjuk; hisz be vannak azok jegyezve aranybetűkkel hazánk történelmének legnevezetesebb lapjain.

De Hollán Ernő emléke még ennél is maradandóbban van bevésve a magyar technikus kar szívébe, mert hiszen Ő volt az, ki bennünk az összetartás szellemét, az egymás iránti tiszteletet felkeltette; Ő volt az, ki a Magyar Mérnök- és Építész-Egyletet megalkotta és ezáltal alapját létesítette a technikus kar céltudatos fejlődésének; Ő volt szeretett vezérünk, tanácsadónk, atyai barátunk.”⁴⁰



4. ábra. A kiemelkedő mérnöki, valamint a mérnöki kamarai tevékenységért 2003-ban alapított elismerés, a Hollán Ernő-emléklap

Forrás: a szerzők felvétele

Felhasznált irodalom

Ács Tibor: Hollán Ernő, az MTA Hadtudományi Bizottságának első elnöke. In Ács Tibor: *Haza, hadügy, hadtudomány. Hadtörténeti és tudománytörténeti írások*. Budapest, Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományszervező Főosztály, 2001a. 189–194.

³⁹ Hajós (2006) i. m. 56.

⁴⁰ *Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Heti Értesítője*, 20. (1901), 1–40. 346.

- Ács Tibor: A magyar katonai gondolkodás irányzatai, 1849–1899. In Ács Tibor: *Haza, hadügy, hadtudomány. Hadtörténeti és tudománytörténeti írások*. Budapest, Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományos-szervező Főosztály, 2001b. 169–176.
- Ács Tibor: A Magyar Tudományos Akadémia és a hadtudomány a század második felében. In: Ács Tibor: *Haza, hadügy, hadtudomány. Hadtörténeti és tudománytörténeti írások*. Budapest, Honvédelmi Minisztérium Oktatási és Tudományos-szervező Főosztály, 2001c. 177–181.
- Az Építési Ipar*. 1885. június 14./24.
- Balla Tibor: A Magyar Királyi Honvédség szórólöveg-alakulatainak története. *Hadtörténelmi Közlemények*, 105. (1992), 2. 65–96.
- Balla Tibor: A magyar királyi honvéd tüzérség, 1912–1914 I. *Hadtörténelmi Közlemények*, 106. (1993), 3. 18–45.
- Balla Tibor: A magyar királyi honvéd tüzérség, 1912–1914 II. *Hadtörténelmi Közlemények*, 106. (1993), 4. 43–74.
- Bona Gábor: *Tábornokok és törzstisztek az 1848/49. évi szabadságharcban*. Budapest, Heraldika, 2000.
- Egervári Ödön: *Magyar királyi honvéd törzstisztek albuma 51 arcképpel és életrajzzal. I. kötet*. Pest, Atheneum Nyomda, 1870.
- Gerő József: *A királyi könyvek. Az I. Ferenc József és IV. Károly király által 1867-től 1918-ig adományozott nemességek, főnemességek, előnevek és címek jegyzéke*. Budapest, szerzői kiadás, 1940.
- Had-történelmi Levéltár Anyakönyvi lapok 3205/1890
- Hajós György: *Hollán Ernő a katona, a mérnök, az államférfi*. Budapest, Építésügyi Tájékoztatási Központ Kft., 2006.
- Kelemen Roland: *A katonai igazságszolgáltatás Magyarországon, 1867–1949. Egy elfeledett jogterület a jogalkotás tükrében*. Budapest, Gondolat, 2017.
- Kiss Gábor: *Tábornokok a Magyar Királyi Honvédségben, 1868–1914*. Budapest, HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum, 2016.
- Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Heti Értesítője*, 20. (1901), 1–40. 346.
- Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közlönye*, 4. (1870), 2. 99.
- Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közlönye*, 46. (1912), 5. 87.
- Magyar Polgár – Kolozsvár*, 3. (1889), 85.
- Pesti Napló*, 1867. január 9.
- Pesti Napló*, 1876. február 12.
- Pesti Hírlap*, 10. (1888), 32. 3.
- Schalk, Heinrich: *250 Jahre militärtechnische Ausbildung in Österreich*. Wien, Erwin Metten, 1967.
- Vasárnapi Ujság*, 6. (1859), 4. 46.
- Vasárnapi Ujság*, 17. (1870), 48. 613–4.

Salamon Endre¹ 

Cianobaktérium-toxinokra vonatkozó hazai és nemzetközi előírások, különös tekintettel a Balatonra mint ivóvízbázisra

Hungarian and International Regulations of Cyanobacterial Toxins, with Special Regard to Lake Balaton as a Drinking Water Supply

A 2020 decemberében kihirdetett új 2020/2184/EU irányelv az ivóvíz minőségére vonatkozóan több új előírás között a cianobaktérium-toxinokra vonatkozó szabályozást is tartalmaz. Jelen tanulmány célja összefoglalni a cianobaktériumok és az algavirágzás ivóvíz-szolgáltatásra gyakorolt hatásaival kapcsolatos műszaki-tudományos ismereteket, és ezek tükrében, más országokban alkalmazott előírásokkal összehasonlítva elemezni a hazai hiányosságokat és megoldási lehetőségeket. Bár a Balaton vízminősége az ezredforduló után javult, a szélsőségesebb környezeti feltételek között időszakosan előforduló algavirágzások ráirányították a figyelmet arra, hogy a probléma máig fennáll és fennállhat jövőben is. A nemzetközi szakirodalomban közzétett adatok és a balatoni felszíni víz-beszerzés helyzetét vizsgálva megállapítható, hogy az EU-s és a hazai szabályozás részletességében elmarad egyes országokétól, ahol a cianobaktériumok problémája fokozottan fennáll. Ellenben a magyarországi viszonyok várhatóan nem fogják indokolni az előírások szigorítását, a szakszerű üzemeltetési kultúra és a jövőbeni vízgazdálkodási fejlesztések miatt, amelyek a probléma kiváltó okát megszüntetik azzal, hogy ivóvíztermelésre nem a cianobaktériumok megjelenésének kitett felszíni vizet használjuk fel.

Kulcsszavak: ivóvíz, cianobaktérium, toxin, vízminőség-szabályozás, határérték

A new drinking water directive, 2020/2184/EU issued in December 2020, contains limit values for cyanobacterial toxins, among other new requirements. The aim of this study is to summarise data available about the effects imposed on drinking water supplies by algal blooms and cyanobacteria

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem, tanársegéd, e-mail: salamon.endre@uni-nke.hu

and to compare international regulations in order to analyse deficiencies and possible solutions for Hungary. Although the water quality of Lake Balaton improved after the millennium, algal blooms under extreme environmental conditions drew attention to this ever present problem. Based on international literature and on the examination of the state of drinking water supply from the Balaton, it can be concluded that EU and domestic regulations are less detailed compared to other countries, which are more affected by issues related to cyanobacteria. However, it is not expected that Hungarian conditions will require stricter regulations in the future, because of the professional operational culture and the planned development in the water utilities sector, which will eliminate the root of the problem, that is, surface waters exposed to cyanobacteria will not be used as drinking water resources.

Keywords: drinking water, cyanobacteria, toxin, water quality control, limit value

1. Bevezetés

Az algavirágzás időtlen idők óta ismert jelenség a felszíni vizekben, a cianobaktériumok toxikus hatását pedig már 1878-ban dokumentálták.² Habár az elmúlt században a felszíni vizek eutrofizációja révén igen nagy figyelmet kapott a jelenség, az erősen egészségkárosító cianobaktérium-toxinokra az Egészségügyi Világszervezet (WHO) csak 1998-ban, 120 évvel később közölt először számszerű határértéket. Akkor is csupán egyetlen vegyületre, a szakirodalomban legveszélyesebbnek leírt mikrocisztin-LR toxinra.³ A szabályozást mindmáig nehezíti a toxinok és a cianobaktérium-fajok sokfélesége, a toxikológiai adatok hiánya, a cianobaktérium-toxinok kimutatásának korlátozott és költséges analitikai lehetőségei. A cianobaktériumok és toxinjaik Magyarországon mindmáig elsősorban csak a felszíni víz rekreációs hasznosításában, valamint a vízben élő egyéb szervezetekre gyakorolt káros hatásuk révén okoztak gondot.

Országos léptékben az algavirágzás az ivóvízellátásra mindmáig nem gyakorolt számottevő hatást. Ennek oka elsősorban, hogy ivóvizeink kevesebb mint 10%-a származik felszíni vizekből, és e vízbázisok nagyobb része is folyó vagy mesterséges tározó. Az előbbieken a víz mozgása miatt alacsony a cianobaktériumok felhalmozódásának lehetősége, utóbbiakban a nagyobb vízmélység és a vízkivétel mélységének változtathatósága miatt a probléma nem jelentkezik olyan mértékben, mint a sekélyebb tavakban. A Balaton azonban, mint nagy felületű, sekély tó, amelyben a korábbi tapasztalatok alapján szélsőségesebb időjárási körülmények között kialakulhat algavirágzás, a cianobaktériumok által okozott problémákkal érintett lehet a jövőben. A káros algavirágzás és a cianobaktériumok megjelenése a klímaváltozás egyik olyan következménye, amelyre fel kell készülni hazánkban is,⁴ és mérsékelni kell annak a nemzeti infrastruktúrára gyakorolt hatását.

² George Francis: Poisonous Australian lake. *Nature*, 18. (1878), 444. 11–12.

³ Bas W. Ibelings et alii: Current approaches to cyanotoxin risk assessment and risk management around the globe. *Harmful Algae*, 40. (2014). 63–74.

⁴ József Padányi – László Földi: Security research in the field of climate change. In László Nádai – József Padányi (szerk.): *Critical infrastructure protection research: Results of the first critical infrastructure protection research project in Hungary*. 2016. 79–90.

Az ivóvízellátásra gyakorolt hatás, habár ismert és dokumentált kockázat, hazánkban a szakszerű üzemeltetés és kedvező körülmények miatt nem kapott akkora figyelmet, mint azok a károk, amelyek az algavirágzás miatt az idegenforgalmat, illetve az állatállományt érték. Különösen a rekreációs célú hasznosítás akadályoztatása okozhat olyan problémákat, amelyek a közhangulatot is erősen befolyásolják. Így nemcsak a közegészségre gyakorolnak káros hatást, hanem a zavarkeltés és a hatóságokban való bizalom aláásásának kiindulópontjai is lehetnek, a problémát nem kellően ismerő lakosság féltetjékoztatása révén.⁵ A klímaváltozási tendenciák és az egyre magasabb ivóvíz- és fürdővízminőségi elvárások miatt azonban szükséges megvizsgálni, hogy a jövőben milyen, a cianobaktériumokkal és toxinokkal kapcsolatos szabályozások lehetnek szükségesek. Ennek érdekében a tanulmány a teljesség igénye nélkül sorra veszi a korábbi és jelenlegi jogszabályokat, különböző országokban érvényes előírásokat, valamint a cianobaktériumok ivóvízellátásra gyakorolt hatásáról rendelkezésre álló ismereteket.

2. Előzmények, jelenlegi helyzet

2.1. Jogszabályi változások

Hazánkban 20 éve hatályos a 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről, amely az akkori európai uniós jogszabállyal összhangban készült. Mind a hazai jogszabály, mind a Tanács 98/83/EK irányelve (1998. november 3.) az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről több módosításon ment át az évek során. A két jogszabályt összehasonlítva megállapítható, hogy a hazai előírás szigorúbb volt, és jelenleg is bővebb körét ismerteti a vizsgálandó paramétereknek. Már az MSZ 450-2:1991 ivóvíz mikroszkopikus biológiai vizsgálat alapján történő minősítésére vonatkozó szabvány is előírta, hogy „az ivóvíz ne tartalmazzon [...] toxintermelő kékalga fajokat”. Az előírás az algaszám meghatározása volt, a fajlista és az indikátorszervezetek megadásával. A számszerű követelmény algaszámra 10 000 egyed/l, illetve 60 µm-es planktonhálával végzett tömörítés után 100 egyed/m³ (0,1 egyed/l) volt.

A jelenleg hatályos 201/2001. Korm. rendelet cianobaktériumokra és algákra együttesen 5000 egyed/l értéket ír elő. A jogszabály a régebbi szabványhoz képest külön előírja „szakirodalmi hivatkozások alapján potenciálisan toxintermelő” algák előfordulása esetén a soron kívüli beavatkozást. Ennek ellenére a cianobaktériumokkal kapcsolatosan továbbra is több bizonytalanság van jelen. Egyrészt a cianobaktériumok toxintermelő volta még nem jelenti egyértelműen azt, hogy a toxin fel is szabadul, illetve lehetséges, hogy az ivóvíztisztítás során magukat a cianobaktériumokat visszatartják, azonban toxinjaik a tisztított vízben megjelennek. Mivel a jogszabály a tisztított vízre vonatkozik, ezért a cianobaktériumok jelenlétének vizsgálata önmagában nem tekinthető elégségesnek. A helyes gyakorlat a cianobaktériumok ellenőrzése a nyersvízben és a tisztított vízben (amelyet a gyakorlatban a vízbiztonsági tervek tartalmaznak). A toxinok vizsgálata (annak költséges és bonyolult volta miatt) csak akkor indokolt, ha a nyers-

⁵ Zsolt Haig – Veronika Hajdu: New ways in the cognitive dimension of information operations. *Land Forces Academy Review*, 22. (2017), 2. 94–102.

vízben a cianobaktériumok már nagy számban megjelentek. A toxinok vizsgálatát nehezíti, hogy bár a szakirodalom alapján beazonosíthatók a különböző cianobaktérium-fajok és az általuk termelt toxinok, a fajok és a toxinok nagy száma miatt nehéz olyan jogszabályban is előírható toxint kiválasztani, amelynek vizsgálata minden esetben elégséges lehet. A 98/83/EK irányelv sem a cianobaktériumok, sem az algák számának vizsgálatát nem írta elő.

A korábbiakhoz képest az Európai Parlament és a Tanács 2020/2184/EU irányelve (2020. december 16.) az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről bár az algaszám vizsgálatát és a cianobaktériumok vizsgálatát közvetlenül nem írja elő, 1 µg/l-es határértéket közöl a leggyakoribb toxinra, a mikrocisztin-LR-re, azzal a megjegyzéssel, hogy kizárólag algavirágzás, illetve megnövekedett sejtsűrűség esetén kell mérni. A rendelet az átmeneti időszakot 2026. január 12-ig határozta meg, korábban a szolgáltatók nem lesznek kötelesek a mikrocisztin-LR vizsgálatára. Ez az átmeneti időszak más, korábban nem szereplő vegyületek vizsgálatára és a mintavétel rendjére is vonatkozik, az eddigiekhez képest részletesebb előírásokkal.

Az ivóvíz mellett a fürdővizekre közöl számszerű határértéket a 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet a természetes fürdővizek minőségi követelményeiről, valamint a természetes fürdőhelyek kijelöléséről és üzemeltetéséről. A jogszabály 1. mellékletében a mikrocisztin-LR-ekvivalens toxintartalomra 4, 10, illetve 20 µg/l koncentrációt ír elő, rendre a kiváló, jó, illetve tűrhető minőségi kategóriákra. Ugyancsak megad számszerű értékeket a cianobaktérium-sejtszámra (20 000, 50 000, 100 000 sejt/ml), illetve a klorofill-a-ra (10, 25, 50 µg/l). A fürdővizekre vonatkozó európai uniós irányelv „Az Európai Parlament és a Tanács 2006/7/EK irányelve (2006. február 15.) a fürdővizek minőségéről és a 76/160/EGK irányelv hatályon kívül helyezéséről” nem közöl számszerű értékeket, csupán a cianobaktériumok burjánzása esetén szükséges intézkedésekről rendelkezik általánosságban.

A szabályozás bevezetését tovább nehezíti, hogy bár a szakirodalomban és a piacon már elérhetők a toxinok kimutatására alkalmas módszerek, ezek szabványosítása és akkreditációja még várat magára. A WHO-nál jelenleg is átdolgozás alatt állnak a cianotoxinokra vonatkozó irányelvek. A jelenlegi 1 µg/l-es ajánlás átmeneti határértéknek tekinthető, és országonként ettől eltérő, részletesebb szabályozás is létezik. A toxinok szabványos méréséről szól az ISO 20179:2005 nemzetközi szabvány. Ezzel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy csak a mikrocisztinek mérésére vonatkozik. Az analitikában a mikrocisztinek sokfélesége miatt a mikrocisztin-LR összegző paraméterként is használatos, azaz magában foglalja mindazokat a toxinokat, amelyek az adott analitikai módszerben a mikrocisztin-LR-hez hasonló jelet állítanak elő. Ebben a tekintetben a 2020/2184/EU irányelvben közölt mikrocisztin-LR-határérték hiányosnak tekinthető, ugyanis a szabály nem rendelkezik arról, hogy csak a mikrocisztin-LR vegyületről van szó, vagy az összes vele egyenértékű mikrocisztinről. Ráadásul a mikrocisztinek mellett legalább öt másik toxincsoport is jelen lehet az algavirágzással érintett vízben (nodularinok, cilindropermopszinok, anatoxinok, szaxitoxinok, lipopoliszacharidok-endotoxinok).⁶

⁶ Vasas Gábor: *Algavirágzások környezetterhelése és toxinjainak variabilitása*. MTA doktori értekezés. Debreceni Egyetem, 2014.

2.2. Víztisztítási helyzet

Az elmúlt években az EU-s előírásokat kielégítő szennyvíztisztításnak köszönhetően a Balaton foszforterhelése jelentősen csökkent, a nitrogénterheléssel együtt. Ez utóbbit a szakirodalom nem is tekinti egységesen az algavirágzás szükséges és elégséges feltételének. A váratlan algavirágzásokban feltehetően a belső terhelések (elsősorban a foszfor üledékből történő felszabadulása) játszanak szerepet, ennek a folyamatnak a mértéke azonban kiszámíthatatlan és a tó egészének terhelésétől részben független jelenség, amelyet a helyi, időszakos ökológiai viszonyok is erősen befolyásolnak.⁷ Hasonlóan kedvező hatást fejtett ki a Kis-Balaton Védelmi Rendszer kiépítése, amely az eutrofizációs folyamatok áthelyezésével jelentősen csökkentette a vízgyűjtőről érkező tápanyag-utánpótlást.⁸ A jövő egyik kérdése azonban, hogy ez a rendszer mennyi időn át lesz képes ezt a puffertartást kifejteni a továbbiakban, mekkora lehet benne a növényi tápanyagok felhalmozódása, és azokból mennyi juthat tovább a Balatonba. A jelenlegi algavirágzások kialakulásának vizsgálata kutatások tárgyát képezi. Habár a tápanyagterhelés kedvező alakulása miatt a jövőben kevésbé számítunk algavirágzás kialakulására és káros mértékű cianobaktérium-elszaporodásra a Balatonban, a közelmúlt tapasztalatai alapján a szélsőségesebb időjárás és a belső terhelés, az üledékben jelen levő kevés foszfor is algavirágzashoz vezethet.

A szakirodalmi források szerint a foszfor szerepe a tavak eutrofizációjában és az algavirágzás kialakulásában elsőrendű.⁹ A terhelések csökkentésénél más tápanyagokkal szemben, elsősorban a nitrogénnel szemben is elsőbbséget élvez. Schindler és munkatársai¹⁰ összefoglalása alapján a foszforterhelés csökkentése önmagában is megfelelő az eutrofizáció ellen, annak ellenére, hogy a belső terhelés miatt a hatás késleltetett. Ez egyúttal felhívja a figyelmet a belső terhelés, az üledékből felszabaduló foszfor fontosságának kérdésére.¹¹ Azokban a vizekben, ahol az alacsony N:P arány mellett gyorsan szaporodó nitrogénkötő cianobaktérium-fajok okoznak virágzást, a foszforterhelés csökkentése hatékony az algavirágzás megelőzésére. A jelenlegi, az EU vízkeretirányelvének¹² megfelelő szabályozás a szigorú foszforeltávolítás mellett a nitrogén eltávolítására is súlyt helyez, ezért a Balaton esetében várhatóan a belső terhelések és a vízgyűjtőről bekerülő foszforterhelések lesznek meghatározók.

Az amerikai Nagy-tavak esetében az Erie-tó maradandó eutrofizációs problémájának okaként elsősorban szintén a vízgyűjtőről (mezőgazdaságból) bekerülő foszfort nevezték meg, a belső

⁷ W. T. Edmondson – John T. Lehman: The effect of changes in the nutrient income on the condition of Lake Washington. *Limnology and Oceanography*, 26. (1981), 1. 1–29.

⁸ Kovács József et alii: Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary). *Ecological Engineering*, 42. (2012). 237–243.

⁹ R. A. Vollenweider – Joseph J. Kerekes: *Synthesis report. Cooperative programme on monitoring of inland waters (Eutrophication Control)*. Report prepared on behalf of the Technical Bureau, Water Management Sector Group, Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development, é. n.

¹⁰ David W. Schindler et alii: Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success. *Environmental Science and Technology*, 50. (2016), 17. 8923–8929.

¹¹ Istvánovics Vera et alii: Updating water quality targets for shallow Lake Balaton (Hungary), recovering from eutrophication. *Hydrobiologia*, 581. (2007), 1. 305–318.

¹² Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról.

medencében felhalmozódott foszfor visszaoldódása mellett.¹³ Általánosságban a szakirodalom nem egységes abban, hogy elegendő-e a foszforterhelés csökkentése, vagy a nitrogénterhelés csökkentése is feltétlenül szükséges az algavirágzás megelőzéséhez.

Frasner és munkatársai nyolc európai és amerikai tó esettanulmányán keresztül vizsgálták a foszforterhelés csökkenésének hosszú távú hatásait. A megfigyelhető eredmény eléréséhez szükséges időt 5–30 év közöttinek találták. Megfigyeléseik szerint az algavirágzás mindaddig fennállt, amíg a foszfortartalom 50 µg/l körüli határérték alá nem csökkent.¹⁴ Hasonló eredmények európai tavakra 100 µg/l alatti foszforkoncentrációk esetén mutatták a cianobaktériumok és az algavirágzás megszűnését.¹⁵ Müller és munkatársai svájci alpesi tavak 25 éves vizsgálata során úgy találták, hogy a tó helyreállításának késői szakaszában az üledékben megkötött foszfor mennyisége növekedett.¹⁶ Munkájuk egyik igen fontos következtetése volt, hogy a tóban jelen lévő foszfor az a hányada, amely az üledékben évente megkötődik, illetve az a hányada, amely a tóból elfolyó vízzel évente távozik, a külső foszforterhelések fokozatos csökkenése során növekszik. Ebből azt a következtetést vonták le, hogy az oldott foszforformák koncentrációja a külső terhelésekkel nem egyenes arányban, hanem annál jelentősebb mértékben csökken. A Balaton szempontjából ennek azért lehet jelentősége, mert a Balatonból az elfolyás mesterségesen szabályozott, a Sió-csatornára korlátozódik, és évről évre változik. A vízügyi hatóság által közölt éves vízmérlegek¹⁷ alapján 1992 óta voltak évek, amikor leeresztés nem történt, illetve amikor a leeresztett víz mennyisége közel megegyezett a hozzáfolyással. Tehát a Balatonban jelen lévő foszfor megkötődése szempontjából az ülepedés dominál az elfolyással történő kiürülés helyett, azaz az üledékben továbbra is jelen lehet foszfor, amely szélsőségesebb körülmények között elégséges lehet az algavirágzás kialakulásához.

Több esetben a tavak foszfortartalmát vas, alumínium és más, foszfor kicsapását és megkötését elősegítő vegyületekkel csökkentették. Módosított bentonit agyagásvány segítségével a holland Rauwbraken-tóbeli foszforkoncentrációt 92%-kal csökkentették.¹⁸ A német Gross-Glienecker-tóban vassal történő kezelés után az összes foszfor 500 µg/l-ről 30-40 µg/l-re csökkent. A kémiai kezelés nagyméretű tavak esetében azonban túlzott költségekkel jár.¹⁹

Egyes tavak esetében az oldott foszfor koncentrációját úgy csökkentették, hogy nitrátadagolással oxidálódóbb körülményeket teremtettek az üledék és a víztest határán, ezzel akadályozva meg a foszfor mobilizációját, így csökkentve a belső terhelést. A nitrát szerepe ebben az esetben

¹³ Eugene B. Welch: Should nitrogen be reduced to manage eutrophication if it is growth limiting? Evidence from Moses Lake. *Lake and Reservoir Management*, 25. (2009), 4. 401–409.

¹⁴ Jutta Fastner et alii: Combating cyanobacterial proliferation by avoiding or treating inflows with high P load – experiences from eight case studies. *Aquatic Ecology*, 50. (2016), 3. 367–383.

¹⁵ Laurence Carvalho et alii: Sustaining recreational quality of European lakes: Minimizing the health risks from algal blooms through phosphorus control. *Journal of Applied Ecology*, 50. (2013), 2. 315–323.

¹⁶ Beat Müller – René Gächter – Alfred Wüest: Accelerated water quality improvement during oligotrophication in peri-alpine lakes. *Environmental Science and Technology*, 48. (2014), 12. 6671–6677.

¹⁷ *A Balaton és a törészek havi vízháztartási jellemzőinek meghatározása, 2019.* Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság.

¹⁸ Miquel Lürling – Frank van Oosterhout: Controlling eutrophication by combined bloom precipitation and sediment phosphorus inactivation. *Water Research*, 47. (2013), 17. 6527–6537.

¹⁹ Klaus-Dieter Wolter: Restoration of eutrophic lakes by phosphorus precipitation, with a case study on Lake Gross-Glienecker. In Martina Eiseltová (szerk.): *Restoration of lakes, streams, floodplains, and bogs in Europe.* Dordrecht, Springer, 2010. 85–99.

az, hogy termináliselektron-akceptorként viselkedik egyes mikroorganizmusok anyagcseréje során (nitrátlégzés, denitrifikáció), így nitrát jelenlétében az oxidációs anyagcserét végző mikroorganizmusok kiszorítják azokat az anaerob mikroorganizmusokat, amelyek anyagcseréjük során foszfort szabadítanak fel az üledékből. A módszert az USA-ban és az EU-ban is használták.²⁰ Ez a módszer előnyösnek bizonyult más, nemkívánatos anyagok kioldódásának csökkentésében is (metil-higany, arzén).²¹

Mivel a felhasználást a ppb (parts per billion, azaz a közeg egymilliárd egységében jelen lévő anyagmennyiség) koncentrációtartományban már fürdővizek esetében is befolyásolják a cianobaktérium-toxinok, mindenképpen kiemelten fontos foglalkozni a szabályozás problémájával. A toxinok lokális megjelenését ugyanis a szélsőséges időjárási körülmények között, kismértékű belső foszforterhelés mellett megjelenő algavirágzás is előidézhetheti. Tehát a Balaton általánosan kedvezőnek mondható állapota sem a hazai, sem a külföldi tapasztalatok alapján nem zárja ki teljesen a cianobaktériumok káros elszaporodásának lehetőségét. Az ezt előidéző körülmények (üledék foszfortartalmának felszabadulása, időjárási feltételek stb.) vizsgálata még a jövő kutatásainak tárgyát kell, hogy képezzék.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1. Cianobaktériumok lehetséges hatásai az ivóvíz-szolgáltatásban

A cianobaktériumok az ivóvízben egyrészt a cianotoxinok, másrészt az íz- és szagproblémák miatt jelentenek gondot. Kisebb mértékben az alga biomaszsa mint szerves anyag prekuzorként viselkedhet, a tisztítás és a víz elosztása során fertőtlenítési melléktermékek képződéséhez járulhat hozzá.²² Ez azonban nem a legjelentősebb hatás. A toxinok megjelenésével kapcsolatos bizonytalanságok fő forrása, hogy ezek a sejteken belül is előfordulnak, nem csak a vízben oldott formában.²³ A sejten belül kötött toxinok hagyományos módszerekkel (például derítéssel, szűréssel), a sejtekkel együtt eltávolíthatók.²⁴ Azonban a toxinok eltávolításához használható oxidációs eljárások roncsolhatják a sejteket és további toxinok felszabadulásához vezethetnek.²⁵

²⁰ David W. Schindler: The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279. (2012), 1746. 4322–4333.

²¹ David A. Matthews et alii: Whole-lake nitrate addition for control of methylmercury in mercury-contaminated Onondaga Lake, NY. *Environmental Research*, 125. (2013), 52–60.; illetve Harold F. Hemond – Katherine Lin: Nitrate suppresses internal phosphorus loading in an eutrophic lake. *Water Research*, 44. (2010), 12. 3645–3650.

²² Lap-Cuong Hua et alii: Algogenic organic matter derived DBPs: Precursor characterization, formation, and future perspectives – A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49. (2019), 19. 1803–1834.

²³ Jie Xu et alii: Enhanced algae removal by Ti-based coagulant: Comparison with conventional Al- and Fe-based coagulants. *Environmental Science and Pollution Research*, 25. (2018), 13. 13147–13158.

²⁴ Djamel Ghernaout et alii: Coagulation process for removing algae and algal organic matter – An overview. *Open Access Library Journal*, 7. (2020), 4. 1–21.

²⁵ Zixiao Ren et alii: Ferrous-activated sodium percarbonate pre-oxidation for membrane fouling control during ultrafiltration of algae-laden water. *Science of the Total Environment*, 739. (2020), 140030.

Nem tisztázott az sem, hogy pontosan mely körülmények között szabadítanak fel az egyes cianobaktérium-fajok toxinokat.²⁶

A cianobaktériumok okozta kockázat kezelésére a vízbázis védelmén (algavirágzás megelőzésén) túlmenően általános gyakorlat tározóknál és tavaknál a vízkivétel mélységének megfelelő megválasztása, hogy az a tónak abból a rétegéből történjen, ahol az algaszám minimális. A hasonló lehetőségek a balatoni felszíni vízkivételi műveknél, a vízszerzés kialakítása és a sekély vízmélység miatt, korlátozottak.

A víztisztítás során alkalmazott módszerek egyrészt a hatékonyabb, speciális víztisztítási technológiák alkalmazását jelentik, elsősorban jobb hatásfokú fizikai eltávolítást (derítés, mélységi szűrés, membránszűrés), másrészt az erőteljesebb előoxidációt és az algák roncsolását. Az algavirágzással és a cianobaktérium-toxinokkal érintett helyeken a vízminőségi monitoring kiegészül a toxinok koncentrációjának rendszeres mérésével, valamint a lakosság tájékoztatásával és a vízfogyasztás különböző mértékű korlátozásával a cianobaktérium-toxinok adott szintjének átlépésekor.

3.2. Cianobaktériumok hatása a vízszerzésre

Az algák bekerülése a tisztításra kitermelt vízbe a vízkivétel során a vízkivétel megfelelő kialakításával korlátozott mértékben ugyan, de befolyásolható. Az algavirágzással érintett felszíni víztestekből (tavak, tározók) történő vízkivétel során a műtárgyak kialakítása úgy történik, hogy a beömlés mélysége változtatható, így mindig abból a rétegből történhet, ahol a zavarosság, az algák száma minimális. Sekély tavakban azonban erre nincs lehetőség. A cianobaktériumok mennyiségi eloszlása a vízmélység mentén többféle mintát követhet, amelyek egymásba rövid idő alatt (naponta) átalakulhatnak. A hőmérsékleti rétegződésen túl a fényviszonyoknak, az áramlási-keveredési viszonyoknak, a hullámverésnek van meghatározó szerepe a kialakuló eloszlás meghatározásában.²⁷

A cianobaktériumok vertikális eloszlása többféle mintát követhet, amelyek között átmenetek lehetségesek. A mintázatot az egyes fajok ökológiai igényei határozzák meg. A víztest kellő átkeveredése esetén az eloszlásuk homogénné válhat, ami azt jelenti, hogy a vízszlopban nagyjából egyforma a cianobaktériumok koncentrációja. Hőmérsékleti rétegződés esetén előfordulhat, hogy homogén eloszlás csak az epilimnionon (felső rétegen) belül alakul ki, máshová nem kerülnek cianobaktériumok. Ugyanígy kialakulhat csak a metalimniont (középső réteget) érintő felhalmozódás. Lebegő cianobaktériumok a felszín felé sűrűsödhetnek felúszás esetén, illetve a vízfelületen is felhalmozódhatnak. Végül ülepedés hatására a cianobaktériumok felhalmozódhatnak a fenéken is, illetve bentikus cianobaktériumok bevonatként a szilárd fenéken.²⁸

A horizontális eloszlás a planktonikus cianobaktériumok esetében az adott víztest áramlási viszonyaitól, a hullámveréstől és a széliránytól függ. A tengerparti úszó vízkivételi művek ki-

²⁶ M. Pivokonsky et alii: The impact of algogenic organic matter on water treatment plant operation and water quality: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 46. (2016), 4. 291–335.

²⁷ United States Environmental Protection Agency: *EPA Drinking Water Health Advisories for Cyanotoxins*. é. n.

²⁸ United States Environmental Protection Agency (é. n.) i. m.

vételével a vízkivétel helye általában kötött, illetve véges számú, parthoz közelebbi és parttól távolabbi vízkivételi pont lehetséges több szívócső alkalmazásával. A legnagyobb kockázat akkor alakul ki, ha a cianobaktériumok alkotta úszó vagy lebegő algaszőnyeg a szél és a hullámverés miatt a partközelen vagy a vízkivételi pont közelében koncentrálódik. Ez ellen megfelelő hullámtörőkkel, szűrőgátakkal lehet védekezni. Az erős, teljes elkeveredést okozó széljárás kedvezőnek tekinthető, mert homogén eloszlást idéz elő. Szélcsendes időben felúszás és felszínen történő felhalmozódás alakulhat ki, illetve egyenletes széljárás esetén a legkedvezőtlenebb, part mentén történő felhalmozódás jelenségével kell számolni.²⁹

A vízszerezés kialakításával kapcsolatban az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (US EPA) több lehetséges védekezési módot is felsorol, mint a cianobaktériumok elleni intézkedést a vízkivételnél.³⁰ Biológiai módszerek tekinthető például a vízfelszínen elhelyezett matracokon lebegő növények, ahol a gyökerek felületükön megkötik a tápanyagokat és a mikroorganizmusokat, nitrogén- és foszforfelvételt valósítanak meg, illetve elzárják a fényt a cianobaktériumok előtt. A parti növényzet (fák, bokrok, nádas) puffereli a vízgyűjtőről bemosódó szennyezést, a part mentén árnyékol, fényt és hőmérsékletet csökkent, minimális fenntartási igény mellett.

Fizikai védekezési módszerként létrejöhet a fenékre telepített diffúzor, amely a levegőztetés helyétől távolodó áramlást hoz létre a felszínen, és a felszínen található tápanyag mennyiségét korlátozza, nem engedi az algaszőnyeg vízszintes helyváltoztatását. Az oxigénszint fenntartásával csökkenti a cianobaktériumok kompetitív előnyeit. Ugyanezt a hatást fejt ki a mechanikai keverés és levegőztetés is. A hipolimnion levegőztetése, amely az oldott oxigén szintjét növeli a fenék közelében, süllyesztett levegőkamrákkal, mellékáramú levegőztetéssel, közvetlen oxigéninjektálással valósítható meg. Ez megakadályozza az üledékből a tápanyag-felzabradulást, előnye a minimális hatás a hipolimnionra és a fennmaradó rétegzettség.³¹

A kémiai módszerek közül a koaguláció-flokkuláció segíti a lebegő cianobaktériumok leüleptetését, a foszfor megkötését, leüleptetését. A fenéken kialakuló réteg megakadályozza a foszfor visszaoldódását. A napfénynek kitett árpaszalma az algák növekedését gátló anyagot termel, általában a vízbe merülő úszó bálákat telepítenek. Ennek hátránya, hogy a meglévő algákat nem pusztítja el, csak az újak növekedését gátolja. A hatás jelentkezése 2–8 hetet is igénybe vehet. A lebomlás oxigént fogyaszt és halpusztuláshoz is vezethet.³²

Összefoglalásképpen kijelenthető, hogy a vízbeszerzés helyén történő beavatkozás, bár vízbiztonsági szempontból valamilyen mértékben szükséges, az algavirágzás hatásai ellen nem hatékony módszer, mert a kiváltó okokat vagy nem szünteti meg, vagy túlzottan nagy erőforrásokat igényel, és erősen beleavatkozik a víztestbe. A hangsúlyt a vízbeszerzés kialakítására és a vízbázisvédelemre, a víztest növényitápanyag-terhelésének korlátozására kell fektetni.

²⁹ Jamie Bartram – Ingrid Chorus: *Toxic Cyanobacteria in Water – A guide to their public health consequences, monitoring and management*. London, CRC Press, 1999.

³⁰ United States Environmental Protection Agency: *Preventative Measures for Cyanobacterial HABs in Surface Water*. EPA.

³¹ EPA *Drinking Water Health Advisories for Cyanotoxins* (é. n.) i. m.

³² EPA *Drinking Water Health Advisories for Cyanotoxins* (é. n.) i. m.

3.3. Cianobaktériumok hatása a víztisztításra

A víztisztítás során a cianobaktériumokkal kapcsolatosan két egymásnak részben ellentmondó célt kell megvalósítani. Egyrészt a sértetlen sejteket kell eltávolítani anélkül, hogy a toxinok felszabadulnának. Másrészt az extracelluláris toxinok roncsolása és eltávolítása is szükséges.³³ Mindezek miatt az előoxidáció hatása és alkalmazása kiemelt jelentőségű, és gondos mérlegelést igényel, egyértelműen csak üzemeltetési tapasztalatok alapján határozható meg. Az EPA ajánlásait az 1. táblázat foglalja össze:

1. táblázat. Oxidációs eljárások különböző cianotoxinok esetén

Oxidáló anyag	Anatoxin-a	Cilindrospermoszpin	Mikrocisztinek	Szaxitoxin
Elemi klór	Nem hatékony	Hatékony (alacsony pH-nál)	Hatékony*	Kissé hatékony
Klóramin	Nem hatékony	Nem hatékony	Normál koncentrációkban nem hatékony	Nincs elég adat
Klór-dioxid	Normál koncentrációkban nem hatékony	Nem hatékony	Normál koncentrációkban nem hatékony	Nincs elég adat
KMnO ₄	Hatékony	Nem hatékony – kissé hatékony	Hatékony*	Nem hatékony
Ózon	Hatékony	Hatékony	Nagyon hatékony	Nem hatékony
UV / AOP	Hatékony	Hatékony	Nagy UV-dózisnál hatékony*	Nincs elég adat

* pH-tól, hőmérséklettől és természetes szerves anyag jelenlététől függően

Forrás: Mark H. Weir – Traven A. Wood – Amy Zimmer-Faust: Development of methods to estimate microcystins removal and water treatment resiliency using mechanistic risk modelling. *Water Research*, 190. (2021), 116763.

Az AOP-k (*Advanced Oxidation Process*) nagy hatékonyságú vagy fejlett oxidációs eljárások, amelyekben nagy reaktivitású gyökökkel, leggyakrabban hidroxilgyökökkel valósítják meg az oxidációt. A módszernek számos megvalósítása lehetséges, például Fenton-reakciót, UV-besugárzást, elektrokémiai oxidációt, ózont, hidrogén-peroxidot, illetve ezek kombinációit használó folyamatokban. Bár az AOP-módszerek a szerves vegyületek, így a gyakoribb cianobaktérium-toxinok roncsolásához hatékonyak, a költségek miatt a kommunális ivóvízellátásban nem terjedtek el.

Az algák mint lebegő anyagok eltávolításának fő technológiai lépése a klasszikus felszíni víztisztításban a derítés. A koaguláció/flokkuláció és az azt követő fázisszétválasztás igen hatékony lehet a sejtek eltávolításában.³⁴ Azonban hatásfoka erősen függhet a jelen lévő fajoktól.³⁵ A hagyományos derítés során a *Microcystis*, *Anabaena* és *Pseudoanabaena* fajokra

³³ Alejandro de la Fuente et alii: Electrocoagulation/flocculation of cyanobacteria from surface waters. *Journal of Cleaner Production*, 238. (2019), 117964.

³⁴ Mary Drikas et alii: Using coagulation, and settling to remove toxic cyanobacteria. *Journal – American Water Works Association*, 93. (2001), 2. 100–111.; Margarida Ribau Teixeira et alii: Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. *Journal of Cleaner Production*, 162. (2017), 484–490.

³⁵ Rita Henderson – Simon A. Parsons – Bruce Jefferson: The impact of algal properties and pre-oxidation on solid-liquid separation of algae. *Water Research*, 42. (2008), 8–9. 1827–1845.

99%-os eltávolítási hatásfokot is kimutattak,³⁶ azonban az *Aphanizomenon* eltávolítása csak 54–74%-os hatásfokkal valósult meg, és közben a sejtek felbomlását (lízisét) is megfigyelték. Más vizsgálatok az *Oscillatory limnetica* gyenge eltávolítási hatásfokát írták le.³⁷ Több esetben is a WHO által javasolt koncentrációt meghaladó mikrocisztin-koncentrációt tapasztaltak a koaguláció-flokkuláció során a sejtek felbomlása miatt.³⁸

A lassú szűrés önmagában nem hatékony megoldás a cianobaktériumok eltávolítására. Pereira és munkatársainak kutatása szerint a lassú szűrés előkezelésként kavicsszűrés igényelt, és a szűrt víz továbbra is el nem fogadható mennyiségű sejtet és toxint tartalmazott.³⁹ Németországi kísérletekben a lassú szűrőben az oldott mikrocisztin biodegradáció útján történő eltávolítására 95%-ot meghaladó hatásfokot mértek, az adszorpció mértékét elhanyagolhatónak találták. A sejthez kötött mikrocisztin-eltávolítás hatásfoka 85%-ot meghaladó volt. Négy foknál kisebb hőmérséklet mellett az eltávolítás hatásfoka azonban 60% alá süllyedt, valamint szükséges volt, hogy a lassú szűrőn kialakuló biofilm előzetesen már érintkezzen mikrocisztint tartalmazó vízzel, hogy a lebontást végző biomassza ki tudjon alakulni.⁴⁰ Házi lassú szűrőkkel végzett kísérletekben a szűrt vízben a mikrocisztin-koncentráció *Microcystis aeruginosa*-val végzett kísérletekben a WHO által javasolt 1 µg/l érték alatt maradt már 1–2 napos üzem után is.⁴¹ Parti szűréses kísérletekben a sejtek 95%-os eltávolítási hatásfokát figyelték meg a szivárgás első 2 cm-én.⁴²

Homokgyorsszűrők önálló alkalmazásáról vagy direkt koagulációs gyorszűrésről a cianobaktériumok eltávolításával kapcsolatban a szakirodalomban kevés említés történik, a gyorszűrés rendszerint mindig koaguláció-flokkulációt követő lépésként jelenik meg. Ennek oka feltehetően, hogy a gyorszűrőben megrekedő sejtek pusztulásakor a toxin felszabadulna. Kálium-permanganátos oxidációt követő gyorszűrésű kísérletben megfigyelték, hogy a szűrő a sejtek számát hatékonyan csökkentette, azonban a Mn²⁺ beoldódását és a mikrocisztin-LR-koncentrációt nem. Mangánoxidáló baktériumokkal történő beoltás után azonban a biológiai mangán-oxid-formáció képes volt a Mn²⁺ és a mikrocisztin-LR visszatartására is.⁴³

Az aktív szenet a szakirodalom a cianotoxinok megkötésére alkalmasnak írja le, függetlenül annak anyagától és alkalmazási formájától (PAC, *Powdered Activated Carbon*, por alakú aktív szén, vagy GAC, *Granulated Activated Carbon* granulált aktív szén). Néhány aktív szén

³⁶ Arash Zamyadi et alii: Species-dependence of cyanobacteria removal efficiency by different drinking water treatment processes. *Water Research*, 47. (2013), 8. 2689–2700.

³⁷ Zakaria A. Mohamed: Breakthrough of *oscillatoria limnetica* and microcystin toxins into drinking water treatment plants – examples from the Nile river, Egypt. *Water SA*, 42. (2016), 1. 161–165.

³⁸ Lixia Shang et alii: Co-occurrence of microcystins and taste-and-odor compounds in drinking water source and their removal in a full-scale drinking water treatment plant. *Toxins*, 10. (2018), 1. 26.

³⁹ Silvano Porto Pereira et alii: Removal of cyanobacteria by slow sand filtration for drinking water. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 2. (2012), 3. 133–145.

⁴⁰ Gesche Grützmacher et alii: Removal of microcystins by slow sand filtration. *Environmental Toxicology*, 17. (2002), 4. 386–394.

⁴¹ U. C. Terin – L. P. Sabogal-Paz: *Microcystis aeruginosa* and microcystin-LR removal by household slow sand filters operating in continuous and intermittent flows. *Water Research*, 150. (2019), 29–39.

⁴² L. G. Romero et alii: Removal of cyanobacteria and cyanotoxins during lake bank filtration at Lagoa do Peri, Brazil. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16. (2014), 6. 1133–1143.

⁴³ Zhiyu Jian et alii: Removal of micropollutants and cyanobacteria from drinking water using KMnO₄ pre-oxidation coupled with bioaugmentation. *Chemosphere*, 215. (2019). 1–7.

hatékonyságát és kapacitását a különböző cianotoxinokra a 2. táblázat foglalja össze. Egyes publikációk az adszorbens kapacitását, mások a százalékos eltávolítási hatásfokot közlik, a táblázat ennek megfelelően csoportosítja az eredményeket. Ren és munkatársai nátrium-alginátot és *Sphingopyxis sp.*-t tartalmazó aktív szén-rostokon vizsgálták a mikrocisztin-RR lebomlási sebességét, eredményeik a 0,27–0,77 µg/ml/h tartományban mozogtak.⁴⁴

2. táblázat. Cianotoxin-eltávolítás különböző aktív széneken

Toxin	Aktív szén-forma	Aktív szén-alapanyag	Eltávolítási hatásfok (%)
Mikrocisztin-RR/-LR/-YR/-LA ⁴⁵	PAC	fa	MC-RR ≈ 85 MC-YR ≈ 5 MC-LR ≈ 37 MC-LA ≈ 5
	PAC	ásványi PAC	MC-RR ≈ 98 MC-YR ≈ 79 MC-LR ≈ 70 MC-LA ≈ 30
Mikrocisztin-LR/-LA ⁴⁶	GAC	biológiai GAC	100
Szaxitoxin ⁴⁷	PAC	ásványi PAC	85–100
			kapacitás (µg/mg)
Cilindrospemoszpin ⁴⁸	PAC	gumia broncs-PAC	0,107
Szaxitoxin (STX), dc-STX ⁴⁹	GAC	GAC	1 dc-STX = 7 STX = 3
Anatoxin-a ⁵⁰	GAC	F400 GAC	7,1
Mikrocisztin-LR ⁵¹	GAC	bitumenes alapú GAC	6–10
Nodularin ⁵²	PAC	gumia broncs	0,345

Forrás: Tauqeer Abbas et alii: Recent advancements in the removal of cyanotoxins from water using conventional and modified adsorbents – A contemporary review. *Water*, 12. (2020), 10. 2756.

- ⁴⁴ Guofeng Ren et alii: Biodegradation of microcystin-RR and nutrient pollutants using *Sphingopyxis sp.* YF1 immobilized activated carbon fibers-sodium alginate. *Environmental Science and Pollution Research*, 27. (2020), 10. 10811–10821.
- ⁴⁵ D. Cook – G. Newcombe: Removal of microcystin variants with powdered activated carbon. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2. (2002), 5–6. 201–207.
- ⁴⁶ Haixiang Wang et alii: Discriminating and assessing adsorption and biodegradation removal mechanisms during granular activated carbon filtration of microcystin toxins. *Water Research*, 41. (2007), 18. 4262–4270.
- ⁴⁷ Honglan Shi et alii: pH effects on the adsorption of saxitoxin by powdered activated carbon. *Harmful Algae*, 19. (2012). 61–67.
- ⁴⁸ Phodiso P. Mashile – Mogolodi K. Dimpe – Philiswa N. Nomngongo: Application of waste tyre-based powdered activated carbon for the adsorptive removal of cylindrospemoszpin toxins from environmental matrices: Optimization using response surface methodology and desirability function. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 54. (2019), 7. 679–685.
- ⁴⁹ Neuma Maria Silva Buarque – Hugo Leonardo De Brito Buarque – Jose Capelo-Neto: Adsorption kinetics and diffusion of Saxitoxins on granular-activated carbon: Influence of pore size distribution. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 64. (2015), 3. 344–353.
- ⁵⁰ Silvia Vlad et alii: Anatoxin-a adsorption by virgin and preloaded granular activated carbon. *AWWA Water Science*, 1. (2019), 1. e1116.
- ⁵¹ Kathryn Villars – Yuzhou Huang – John J. Lenhart: Removal of the Cyanotoxin Microcystin-LR from Drinking Water Using Granular Activated Carbon. *Environmental Engineering Science*, 37. (2020), 9. 585–595.
- ⁵² Phodiso P. Mashile et alii: Occurrence, quantification, and adsorptive removal of nodularin in seawater, wastewater and river water. *Toxicol*, 180. (2020). 18–27.

Az eltávolítási hatásokot elsősorban az aktív szén pórusmérete, a pórusméret eloszlása, illetve a felület jellege, az aktív szén felületének elektrokémiai jellege befolyásolja, a megkötött toxin anyagminősége mellett. A kezelendő vízben jelen lévő egyéb szerves anyagok az aktív szén cianotoxin-megkötő képességét erősen rontják, a nagyobb molekulák eltömhetik a pórusokat, illetve a humuszsavak egyes funkciócsoportjai negatívabbá tehetik a felületét. Hasonló hatást fejthet ki a pH változása is. Biológiai aktív szenek tartósabb és nagyobb hatásfokú eltávolításra is képesek lehetnek, amennyiben a biológiai aktivitás fennmarad bennük.⁵³

A membránszűrés alkalmas a sejtek és kisebb mértékben a toxinok visszatartására is. Nanoszűrőkkel és fordított ozmózissal mikrocisztinre 82% feletti eltávolítási hatásokot értek el.⁵⁴ Fordított ozmózissal mikrocisztin-LR és -RR esetében 95%-os eltávolítási hatásokot is mértek.⁵⁵ Mikrocisztin-RR/-LR/-YR/-LA és anatoxin-a esetében az eltávolítás hatásfokát 200 Da molekulatömeget visszatartó membránon 96% felettinek találták.⁵⁶ Az ultraszűrők a vízben oldott toxinokat már érdemben nem képesek visszatartani. Koagulációt és flokkulációt követően viszont a sejtek visszatartására alkalmasak. Újabb kutatások vizsgálták az algáknak a membrán eltömődésére gyakorolt hatását. Bár az ultraszűrő membrán irreverzibilisen is eltömődhet az alga eredetű szerves anyagoktól, a membránon kialakuló bevonat a cianobaktériumok és toxinjaik eltávolítását javíthatja.⁵⁷

3.4. Vízellátás

A cianobaktérium-sejtek bejutása a vízellátó hálózatba hazánkban havária jellegű eseménynek tekinthető. A toxinok terjedéséről a technológián át a szolgáltatott vízbe azonban kevés információ áll rendelkezésre. A szakirodalomban ismeretesek nagyobb, az ivóvízhasználatot érintő tömeges cianobaktérium-jelenléttel járó algavirágzások, amelyeket követően a lakosság körében halálozások is előfordultak. Néhány esetet a 3. táblázat foglal össze. Ezek túlnyomó része elsősorban a kezeletlen ivóvizet fogyasztó szervezetekre fejtett ki kedvezőtlen hatást, de ipari országok ivóvizében is előfordultak cianobaktériumokhoz köthető egészségkárosodások. Az adatokkal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a toxinok hatása elsősorban az emésztőszerveket érinti, ezért az ilyen panaszokat, hacsak nem tömegesen jelentkeznek, ritkán kapcsolják az ivóvízhez, ezért a valós esetszám vélhetően nagyobb, mint a dokumentált.

⁵³ Abbas (2020) i. m.

⁵⁴ Judy A. Westrick et alii: A review of cyanobacteria and cyanotoxins removal/inactivation in drinking water treatment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397. (2010), 5. 1705–1714.

⁵⁵ Uwe Neumann – Jürgen Weckesser: Elimination of microcystin peptide toxins from water by reverse osmosis. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 13. (1998), 2. 143–148. és Erkki Vuori et alii: Removal of nodularin from brackish water with reverse osmosis or vacuum distillation. *Water Research*, 31. (1997), 11. 2922–2924.

⁵⁶ A. J. Gijsbertsen-Abrahamse et alii: Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 276. (2006), 1–2. 252–259.

⁵⁷ Huikai Liang et alii: The role of extracellular organic matter on the cyanobacteria ultrafiltration process. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2021. március.

3. táblázat. Toxikus cianobaktérium-virágzások

Hely	Év	Esemény	Toxin
Alexandria-tó (Ausztrália)	1878	Haszonállat-pusztulás	Nodularin
Alpesi tavak (Svájc)	1974–1994	Szarvasmarha-pusztulás, májkárosodás	Protein-foszfát-inhibíció
Armidale (Ausztrália)	1983	Emberi májkárosodás	Ismeretlen
Richmond-tó (USA)	1988	Haszonállat-, madár-, kutya-, halpusztulás	Anatoxin-a
Itaparicai-tározó (Brazília)	1993	88 halálozás, gastroenteritis	Ismeretlen
Nandong körzet (Kína)	1994–1995	100 000 főből 100 májrákos eset, aflatoxin- és hepatitis B-antigén	Mikrocisztinek
Caruaru (Brazília)	1996	60 halálozás hemodialízissel kezelt betegek esetében.	Mikrocisztinek

Forrás: Bettina C. Hitzfeld – Stefan J. Höger – Daniel R. Dietrich: Cyanobacterial toxins: Removal during drinking water treatment, and human risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, 108. (2000), 1. 113–122.

A cianobaktériumok vizsgálatára olcsón és hatékonyan alkalmazható módszer a mikroszkópos taxonómiai vizsgálat, sejtszámlálás, sejttérfigyelés-meghatározás. Bár ezek a módszerek gyakorlott és szakképzett élmunkát igényelnek a cianobaktériumok megjelenésének értékelésére, előzetes figyelmeztetésre kiválóan alkalmasak. A műszeres mérések, elsősorban a klorofill-a laboratóriumi vagy helyszíni online, abszorpciós fotometriás vagy fluoreszcencián alapuló spektroszkópiai mérési módszerei is hatékonyan alkalmazhatóak hasonló célból. A cianobaktériumok és toxinjaik, anyagcseretermékeik kimutatásában a jövőben várhatóan a metagenomikai, PCR- és immunpróbán alapuló módszerek is szerephez jutnak.⁵⁸ A cianobaktérium-toxinok mérgező hatásának vizsgálatára egerekkel vagy más szervezetekkel toxikológiai tesztek is használhatók. A precíz, ppb-tartományban ($\mu\text{g/l}$) történő mérés rendszerint folyadék-kromatográfiás és tömegspektrometriás méréseket igényel, különleges mintaelőkészítéssel. Emiatt a tisztított ivóvízben a toxinok vizsgálatát és mennyiségének mérését csak rendkívüli kockázat fennállása esetén érdemes elrendelni. Mindezek miatt a cianobaktériumok megjelenésének előrejelzése, a megjelenés esetén a megfelelő intézkedések megtétele komolyan támaszkodik az emberi tényezőkre is, amelyek a megfelelő kockázatkezelésben kiemelt fontosságúak.⁵⁹

4. Külföldi és nemzetközi szabályozás

A WHO ajánlása a megengedhető mikrocisztin-LR-koncentrációra $1 \mu\text{g/l}$, oldott és sejthez kötött összesen. Jelenleg azonban a cianotoxinokra vonatkozó irányelv átdolgozás alatt áll, és a többi toxinra történő ajánlás kidolgozása lehetőségének vizsgálata zajlik. 1998 előtt erre sem volt ajánlás, a megfelelő mennyiségű adat hiánya miatt. Az $1 \mu\text{g/l}$ -es ajánlást 2004-ben publikálták.⁶⁰ A többféle toxinnak több mint 80 változata ismert, ez az egyik oka annak, hogy az egységes ivóvíz-minősítési szabályok kidolgozása komoly akadályokba ütközik. A ciano-

⁵⁸ Knisz Judit et alii: Genome-level insights into the operation of an on-site biological wastewater treatment unit reveal the importance of storage time. *Science of the Total Environment*, 766. (2021), 144425.

⁵⁹ Tamás Berek – Judit Kovács: Risk assessment of the human factor in the field of building and infrastructure defense. *Acta Polytechnica Hungarica*, 15. (2018), 8. 195–207.

⁶⁰ WHO: *Cyanobacterial toxins: Microcystin-LR in Drinking-water*.

baktérium-toxinok kockázatértékeléséről a német környezetvédelmi ügynökség adott ki több ország szabályozását összefoglaló elemzést, 2005-ben⁶¹ 18 ország adatai, valamint 2012-ben⁶² 15 ország adatai alapján. Hasonló, kevésbé részletes áttekintést közöltek Ibelings és munkatársai 2014-ben.⁶³ Testai és munkatársai 2016-ban közöltek összefoglalót a cianobaktérium-toxinok élelmezési kockázatairól.⁶⁴

A különböző országok előírásait vizsgálva megállapítható, hogy rendszerint, de nem mindenhol van jelen valamilyen kockázatkezelési keretrendszer. Magyarországon ez jellemzően a vízbiztonsági terv (angol nyelvű szakirodalomban: WSP, *Water Safety Plan*), bár egyes országokban a HACCP-konceptiót (veszélyelemzés és kritikus ellenőrzőpontok, *Hazard Analysis and Critical Control Points*) vagy a közegészségügyi kockázatkezelési tervet (PHRMP, *Public Health Risk Management Plan*) alkalmazzák.⁶⁵ A részletesebb előírások vagy szabványban rögzített értékeket, ajánlott értékeket, maximálisan megengedett koncentrációkat (MAC, *Maximum Allowable Concentration*), vagy egészségügyi riasztási szinteket adnak meg, esetleg ezek kombinációit használják. A konkrét határértékek rendszerint a sejtszám (egyed/víztérfogat), a sejttérfogat (sejttérfogat/víztérfogat), illetve toxinkoncentráció formájában adottak.

Maguk a konkrét határértékek és a vizsgálandó paraméterek köre nagyobb változatosságot mutatnak. A szakirodalomban fellelhető, cianobaktérium-számra vonatkozó szabályozások közül az ausztrál a legrészletesebb, amely *Microcystis aeruginosa*ra 6500 sejt/ml (vagy 0,6 mm³/l), *Nodularia spumegina*ra 40 000 sejt/ml (9,1 mm³/l), *Cylindrospermopsis raciborskii*ra 15 000 – 20 000 sejt/l (0,6–0,8 mm³/l), *A. circinalis*ra 20 000 sejt/l (5 mm³/l) értéket állapít meg. Az értékek szigorúsága egyúttal a baktériumfajok toxintermelő hajlamát és a toxin veszélyességét is figyelembe veszi.

A brazil szabályozás az összes cianobaktériumra 10 000 – 20 000 sejt/ml értéket, illetve 1 mm³/l sejttérfogatot ad meg. A cseh szabályozás az alacsony készütségi szintekhez 2000 sejt/ml (0,2 mm³/l) érték mellett szerepeltet 1 telep/ml, 5 fonál/ml és 1 µg/l klorofill-a értéket is, ezzel több független vizsgálati módszerre is támaszkodik, bár a fonalak számlálása ugyancsak mikroszkópos azonosítást és számlálást követel meg, míg a telepszám vizsgálatához szükséges tenyésztés szintén időigényes manuális laboratóriumi módszernek tekinthető.⁶⁶

A kubai szabályozás toxinkoncentrációkat nem ír elő, az összes fitoplankton sejtre 20 000 sejt/ml értéket, a cianobaktérium-sejtekre 1500 sejt/ml értéket, illetve a cianobaktériumok arányára a fitoplanktonon belül 50%-ot ad meg, ezenkívül az olyan egyszerűen azonosítható paramétereket vizsgálja, mint valamely ismert toxikus cianobaktérium-faj jelenléte, illetve az algavirágzás szabad szemmel megfigyelhető jelei. A finn és a török szabályozás 5000 sejt/l érték felett írja elő a fokozott monitorozást, illetve Finnországban a mikrocisztin mérését és 100 000 cianobaktérium sejt/ml felett a vízfogyasztás korlátozását is.⁶⁷

⁶¹ Chorus (2005) i. m.

⁶² Chorus (2012) i. m.

⁶³ Ibelings et alii (2014) i. m.

⁶⁴ Emanuela Testai et alii: Review and analysis of occurrence, exposure and toxicity of cyanobacteria toxins in food. *EFSA Supporting Publications*, 13. (2016), 2. 998E.

⁶⁵ Ingrid Chorus (2012) i. m.

⁶⁶ Ingrid Chorus (2005) i. m.

⁶⁷ Ingrid Chorus (2012) i. m.

A toxinok koncentrációinak szabályozása is változatos képet mutat. A leggyakrabban vizsgált toxin a mikrocisztin-LR, amelynek határértéke szinte minden országban rendre a WHO-ajánlást követő 1 µg/l, kivéve Kanadát, ahol 1,5 µg/l. Különbségek lehetnek még a között, hogy csak a szabad mikrocisztin (illetve más toxinok) vagy pedig az összes (szabad és sejthez kötött) toxin mérése az előírás. Érdekes módon az összes mikrocisztinre, aminek koncentrációja várhatóan több a vízben, mint egyedül a mikrocisztin-LR koncentrációja, szintén az 1 µg/l-es határérték jelenik meg a legtöbb országban (Ausztrália esetében 1,3 µg/l).⁶⁸

A mikrocisztin mellett a többi cianotoxinra kevés ország alkalmaz számszerű határértékeket. Ezeket az alábbi táblázat foglalja össze.⁶⁹ Lipopoliszacharidok (endotoxinok) értékeire a szakirodalom alapján egyetlen országban sincs külön határérték.

4. táblázat. Egyéb cianotoxinok határértékei néhány országban

Toxin	Nodularin	Cilindropermopszin	Anatoxin-a	Szaxitoxin
Ország	µg/l			
Ausztrália	–	1	–	3
Brazília	–	15	–	3*
Kanada	–	–	3,7	–
Új-Zéland	1	1	6**	3*

*összes ekvivalens

** külön: anatoxin-a(s): 1 µg/l; homoanatoxin-1: 2 µg/l

Forrás: Ingrid Chorus (2005) i. m.

Az Egyesült Államokon belül a különböző tagállamokban hasonlóan változatos képet mutat a szabályozás. Van, ahol csak a mikroszkópos vizsgálat szükséges, máshol a toxinokra is számszerű határérték került megállapításra.⁷⁰

Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynökségének ajánlása szerint az 5. táblázatban megadott koncentrációk alatt 10 napon át biztonsággal lehet fogyasztani az ivóvizet. Arra az esetre, ha a cianotoxinok megjelennek a hálózati csapvízben, kétlépcsős fogyasztáskorlátozást javasolnak. Az első lépcsőben az érzékenyen érintett lakosság (gyermekek, idősek, várandós anyák, dialízissel kezelt személyek, valamilyen májrendellenességben szenvedők) számára ellenjavalt a csapvíz fogyasztása, míg magasabb koncentráció esetén mindenki számára ellenjavallt. A riasztási szintekhez tartozó pontos koncentrációkra nem közöl kötelező érvényű ajánlást. Beavatkozást és fokozott monitoringot 0,3 µg/l-t meghaladó mikrocisztin-, illetve 0,7 µg/l-t meghaladó cilindropermopszin-koncentrációnál javasol.

5. táblázat. EPA-ajánlás a cianotoxin beavatkozási koncentrációira

Fogyasztói csoport	Mikrocisztin (µg/l)	Cilindropermopszin (µg/l)
6 évnél fiatalabb	0,3	0,7
6 évnél idősebb gyermekek	1,6	3,0

Forrás: EPA Drinking Water Health Advisories for Cyanotoxins

⁶⁸ Ingrid Chorus (2012) i. m.⁶⁹ Ingrid Chorus (2005) i. m.⁷⁰ Ingrid Chorus (2012) i. m.

A fürdővizek esetében a WHO nem közöl számszerű határértékeket toxinkoncentrációra. Az ajánlás 20 000 sejt/ml vagy 10 µg/l klorofill-a-koncentráció felett fokozott figyelmet, 100 000 sejt/ml és 50 µg/l klorofill-a-koncentráció felett a fürdés korlátozását javasolja. Külön felhívja az ajánlás a figyelmet az összegyűlő, koncentrálódozó massa jelenlétére, amely a cianobaktériumok és toxinjaik koncentrálódozását is jelzi.⁷¹

A többi ország szabályozása többé-kevésbé ebben a koncentrációtartományban mozog, azzal a különbséggel, hogy a sejtszám és a klorofill-a mellett egyes cianobaktériumok jelenlétét külön vizsgálják, illetve a sejtszám mellett sejtterfogóban is adnak meg számszerű határértékeket. A szabályozással rendelkező országok többségében háromlépcsős riasztási, készenléti fokozatok szerepelnek, amelyek elrendelése a sejtszámtól, a klorofill-a-koncentrációtól, illetve bizonyos cianobaktérium-fajok jelenlététől függ. Ilyen többlépcsős rendszerrel rendelkező országok például Ausztrália, Kuba, Finnország, Hollandia, Új-Zéland, Törökország.

Magyarországon a 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet a természetes fürdővizek minőségi követelményeiről, valamint a természetes fürdőhelyek kijelöléséről és üzemeltetéséről hasonló elvet követ, a fürdővíz minősítése a kiváló, jó, tűrhető kategóriákban a klorofill-a (10, 25, 50 µg/l), a cianobaktérium-sejtszám (20 000, 50 000, 100 000 sejt/ml), illetve a mikrocisztin-LR-ekvivalens toxintartalom alapján történik (4, 10, 20 µg/l). A tűrhető minőséget el nem érő vizek esetében a rekreációs célú használatot a hatóság megtilthatja.

A fürdővizek esetében a szakirodalomban a mikrocisztinen kívül más toxinok vizsgálatáról nem történik említés, bár nem kizárt, hogy egyes esetekben helyi sajátosságok alapján a többi toxint is monitorozzák. Ahol számszerű határértéket adnak meg a mikrocisztinre, ott ez jellemzően a 10–50 µg/l-es tartományban mozog. Például Ausztrália: 10 µg/l, Kanada: 20 µg/l, Franciaország: 25 µg/l, Olaszország: 25 µg/l, Új-Zéland: 12 µg/l, Szingapúr: 50 µg/l.⁷²

5. Összefoglalás

A cianobaktériumok és az általuk termelt toxinok jelenléte potenciálisan érintheti a víz kezelését, tisztítási technológiáját, amelynek feladata ezek eltávolítása; illetve a hálózaton történő terjedés során érintheti a fogyasztókat.

A nemzetközi szakirodalmat vizsgálva megállapítható, hogy a fürdővizek tekintetében az európai uniós jogszabályon alapuló hazai határértékek és előírt vizsgálandó paraméterek és vizsgálati módszerek más országokban alkalmazott módszerekkel összhangban, azonos színvonalon állnak. Az ivóvíz tekintetében azonban a cianobaktérium-toxinok vizsgálata nem szabályozott olyan részletesen, mint más országokban, amelyek a problémával fokozottan érintettek. Ennek fő oka nem a hazai szabályzás elmaradása, bár a 2020. decemberben kiadott 2020/2184/EU irányelv nyomán a hazai, 201/2001. Korm. rendelet módosítása is várható. Mind ez elsősorban annak tudható be, hogy a hazai körülmények és tapasztalatok nem indokolták a cianobaktérium-toxinok részletesebb vizsgálatát az ivóvízben.

⁷¹ WHO i. m.

⁷² Chorus (2012) i. m.

A meglévő hazai vízbiztonsági tervek korábban megfelelőek voltak ennek a kockázatnak a kézben tartására. Azok a módszerek, amelyeket a világ más, kevésbé szerencsés adottságokkal rendelkező felszíni vízbázisain alkalmaznak, itthon nem fenntarthatók. E módszerek egyrészt a hatékonyabb, speciális víztisztítási technológiák alkalmazását jelentik, amely az eleve költséges felszínvíz-kezelés erőforrás-szükségeit tovább növelnék. Másrészt a cianobaktérium-toxinokkal érintett helyeken a vízminőségi monitoring kiegészül a toxinok koncentrációjának rendszeres mérésével az ivóvízben (amelyre hazai jogi szabályozás és műszaki irányelv jelenleg nincs), valamint a lakosság tájékoztatásával és a vízfogyasztás korlátozásával a cianobaktériumok megjelenésének idejére.

Hazai körülmények közt ilyen kockázatcsökkentő intézkedések és fejlesztések bevezetésére rövid távon nem állnak rendelkezésre a szükséges feltételek. A jelenlegi állapot és múltbeli tapasztalatok nem indokolják olyan lépések megtételét és beruházásokat, amelyekkel az algavirágzás hatása az ivóvízellátásra tovább csökkenthető. A nemzeti vízstratégia és az integrált vízgazdálkodás megvalósításával a foszforterhelés és ezzel az algavirágzások valószínűsége tovább csökken.

A helyi adottságok figyelembevételével a jövőbeli, előre nem látható kockázatok elkerülésére a fenntartható megoldás a mikroszkópos vizsgálaton és sejtszámláláson, a klorofill-a mérésén alapuló ellenőrzés. A toxinok költséges mérését a nemzetközi gyakorlattal összhangban csak akkor szükséges elrendelni, legyen szó akár ivóvízről, akár állattenyésztési, akár rekreációs felhasználásról, ha az egyéb paraméterek valószínűsítik a cianobaktériumok jelenlétét és felhalmozódását. Hosszabb távon a legjobb megoldás a jelenleg is követett stratégia, a probléma kiváltó okainak megszüntetése, a költségesebb felszíni víztermelés csökkentése, megszüntetése és átállás más vízbázisra.

A cikk az Innovációs és Technológiai Minisztérium mint támogató által meghirdetett BALATON-ZFR-2020/1 kódszámú „Klíma- és Természetvédelmi Akcióterv – A megjelent balatoni algavirágzás okainak felkutatása és intézkedési javaslatok kidolgozása” pályázat keretében készült.

Felhasznált irodalom

- Abbas, Tauqeer – George William Kajjumba – Meena Ejjada et alii: Recent advancements in the removal of cyanotoxins from water using conventional and modified adsorbents – A contemporary review. *Water*, 12. (2020), 10. 2756. Online: <https://doi.org/10.3390/w12102756>
- Bartram, Jamie – Ingrid Chorus: *Toxic cyanobacteria in water – A guide to their public health consequences, monitoring and management*. London, CRC Press, 1999. Online: <https://doi.org/10.1201/9781482295061>
- Berek, Tamás – Judit Kovács: Risk assessment of the human factor in the field of building and infrastructure defense. *Acta Polytechnica Hungarica*, 15. (2018), 8. 195–207. Online: <https://doi.org/10.12700/APH.15.8.2018.8.10>

- Buarque, Neuma Maria Silva – Hugo Leonardo De Brito Buarque – Jose Capelo-Neto: Adsorption kinetics and diffusion of Saxitoxins on granular-activated carbon: Influence of pore size distribution. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 64. (2015), 3. 344–353. Online: <https://doi.org/10.2166/aqua.2015.140>
- Carvalho, Laurence – Claire McDonald – Caridad de Hoyos et alii: Sustaining recreational quality of European lakes: Minimizing the health risks from algal blooms through phosphorus control. *Journal of Applied Ecology*, 50. (2013), 2. 315–323. Online: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12059>
- Chorus, Ingrid: *Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries*. Dessau, Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), 2005.
- Chorus, Ingrid: *Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries*. Dessau-Roßlau, Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), 2012.
- Cook, D. – G. Newcombe: Removal of microcystin variants with powdered activated carbon. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2. (2002), 5–6. 201–207. Online: <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0170>
- Drikas, Mary – Christopher W. K. Chow – Jenny House – Michael D. Burch: Using coagulation, and settling to remove toxic cyanobacteria. *Journal – American Water Works Association*, 93. (2001), 2. 100–111. Online: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2001.tb09130.x>
- Edmondson, W. T. – John T. Lehman: The effect of changes in the nutrient income on the condition of Lake Washington. *Limnology and Oceanography*, 26. (1981), 1. 1–29. Online: <https://doi.org/10.4319/lo.1981.26.1.0001>
- Fastner, Jutta – Sally Abella – Arni Litt et alii: Combating cyanobacterial proliferation by avoiding or treating inflows with high P load – experiences from eight case studies. *Aquatic Ecology*, 50. (2016), 3. 367–383. Online: <https://doi.org/10.1007/s10452-015-9558-8>
- Francis, George: Poisonous Australian lake. *Nature*, 18. (1878), 444. 11–12. Online: <https://doi.org/10.1038/018011d0>
- Fuente, Alejandro de la – Alicia M. Muro-Pastor – Francisco Merchán et alii: Electrocoagulation/flocculation of cyanobacteria from surface waters. *Journal of Cleaner Production*, 238. (2019), 117964. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117964>
- Ghernaout, Djamel – Noureddine Elboughdiri – Saad Ghareba – Alsamani Salih: Coagulation process for removing algae and algal organic matter – An overview. *Open Access Library Journal*, 7. (2020), 4. 1–21. Online: <https://doi.org/10.4236/oalib.1106272>
- Gijsbertsen-Abrahamse, J. – W. Schmidt – Ingrid Chorus – S. Heijman: Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 276, (2006), 1–2. 252–259. Online: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.09.053>
- Grützmacher, Gesche – Gabriele Böttcher – Ingrid Chorus – Hartmut Bartel: Removal of microcystins by slow sand filtration. *Environmental Toxicology*, 17. (2002), 4. 386–394. Online: <https://doi.org/10.1002/tox.10062>
- Haig, Zsolt – Veronika Hajdu: New ways in the cognitive dimension of information operations. *Land Forces Academy Review*, 22. (2017), 2. 94–102. Online: <https://doi.org/10.1515/raft-2017-0013>
- Hemond, Harold F. – Katherine Lin: Nitrate suppresses internal phosphorus loading in an eutrophic lake. *Water Research*, 44. (2010), 12. 3645–3650. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.04.018>
- Henderson, Rita – Simon A. Parsons – Bruce Jefferson: The impact of algal properties and pre-oxidation on solid-liquid separation of algae. *Water Research*, 42. (2008), 8–9. 1827–1845. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.039>
- Hitzfeld, Bettina C. – Stefan J. Höger – Daniel R. Dietrich: Cyanobacterial toxins: Removal during drinking water treatment, and human risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, 108. (2000), 1. 113–122. Online: <https://doi.org/10.1289/ehp.00108s1113>
- Hua, Lap-Cuong – Chun-Hsi Lai – Gen-Shuh Wang et alii: Algogenic organic matter derived DBPs: Precursor characterization, formation, and future perspectives – A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49. (2019), 19. 1803–1834. Online: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1586057>

- Ibelings, Bas W. – Lorraine C. Backer – W. Edwin A. Kardinaal – Ingrid Chorus: Current approaches to cyanotoxin risk assessment and risk management around the globe. *Harmful Algae*, 40. (2014), 63–74. Online: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.10.002>
- Istvánovics Vera – Adrienne Clement – László Somlyódy et alii: Updating water quality targets for shallow Lake Balaton (Hungary), recovering from eutrophication. *Hydrobiologia*, 581. (2007), 1. 305–318. Online: <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0509-1>
- Jian, Zhiyu – Yaohui Bai – Yangyang Chang et alii: Removal of micropollutants and cyanobacteria from drinking water using KMnO₄ pre-oxidation coupled with bioaugmentation. *Chemosphere*, 215. (2019), 1–7. Online: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.013>
- Knisz Judit – P. Shetty – R. Wirth et alii: Genome-level insights into the operation of an on-site biological wastewater treatment unit reveal the importance of storage time. *Science of the Total Environment*, 766. (2021), 144425. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144425>
- Kovács, József – János Korponai – Ilona Székely Kovács – István Gábor Hatvani: Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary). *Ecological Engineering*, 42. (2012), 237–243. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.02.004>
- Liang, Huikai – Xin Huang – Han Wang et alii: The role of extracellular organic matter on the cyanobacteria ultrafiltration process. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2021. március. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.03.010>
- Lürling, Miquel – Frank van Oosterhout: Controlling eutrophication by combined bloom precipitation and sediment phosphorus inactivation. *Water Research*, 47. (2013), 17. 6527–6537. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.08.019>
- Mashile, Phodiso P. – Mogolodi K. Dimpe – Philiswa N. Nomngongo: Application of waste tyre-based powdered activated carbon for the adsorptive removal of cylindrospermopsin toxins from environmental matrices: Optimization using response surface methodology and desirability function. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 54. (2019), 7. 679–685. Online: <https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1579538>
- Mashile, Phodiso P. et alii: Occurrence, quantification, and adsorptive removal of nodularin in seawater, wastewater and river water. *Toxicon*, 180. (2020). 18–27. Online: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.03.009>
- Matthews, David A. – David B. Babcock – John G. Nolan et alii: Whole-lake nitrate addition for control of methylmercury in mercury-contaminated Onondaga Lake, NY. *Environmental Research*, 125. (2013), 52–60. Online: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.03.011>
- Mohamed, Zakaria A.: Breakthrough of oscillatoria limnetica and microcystin toxins into drinking water treatment plants – examples from the Nile river, Egypt. *Water SA*, 42. (2016), 1. 161–165. Online: <https://doi.org/10.4314/wsa.v42i1.16>
- Müller, Beat – René Gächter – Alfred Wüest: Accelerated water quality improvement during oligotrophication in peri-alpine lakes. *Environmental Science and Technology*, 48. (2014), 12. 6671–6677. Online: <https://doi.org/10.1021/es4040304>
- Neumann, Uwe – Jürgen Weckesser: Elimination of microcystin peptide toxins from water by reverse osmosis. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 13. (1998), 2. 143–148. Online: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2256\(1998\)13:2<143::AID-TOX5>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2256(1998)13:2<143::AID-TOX5>3.0.CO;2-7)
- Padányi, József – László Földi: Security research in the field of climate change. In László Nádai – József Padányi (szerk.): *Critical infrastructure protection research: Results of the first critical infrastructure protection research project in Hungary*. 2016. 79–90. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-28091-2>
- Pereira, Silvano Porto – Fabiana de Cerqueira Martins – Lenora Nunes Ludolf Gomes et alii: Removal of cyanobacteria by slow sand filtration for drinking water. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 2. (2012), 3. 133–145. Online: <https://doi.org/10.2166/washdev.2012.047>

- Pivokonsky, M. – J. Naceradska – I. Kopecka et alii: The impact of algogenic organic matter on water treatment plant operation and water quality: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46. (2016), 4. 291–335. Online: <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1087369>
- Ren, Guofeng – Xinghou He – Pian Wu et alii: Biodegradation of microcystin-RR and nutrient pollutants using *Sphingopyxis* sp. YF1 immobilized activated carbon fibers-sodium alginate. *Environmental Science and Pollution Research*, 27. (2020), 10. 10811–10821. Online: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07640-8>
- Ren, Zixiao – Xiaoxiang Cheng – Peijie Li et alii: Ferrous-activated sodium percarbonate pre-oxidation for membrane fouling control during ultrafiltration of algae-laden water. *Science of the Total Environment*, 739. (2020), 140030. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140030>
- Romero, L. G. – R. I. Mondardo – M. L. Sens – T. Grischek: Removal of cyanobacteria and cyanotoxins during lake bank filtration at Lagoa do Peri, Brazil. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16. (2014), 6. 1133–1143. Online: <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0715-x>
- Schindler, David W. – Stephen R. Carpenter – Steven C. Chapra – Robert E. Hecky – Diane M. Orihel: Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success. *Environmental Science and Technology*, 50. (2016), 17. 8923–8929. Online: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02204>
- Schindler, David W.: The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279. (2012), 1746. 4322–4333. Online: <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1032>
- Shang, Lixia – Muhua Feng – Xiangen Xu et alii: Co-occurrence of microcystins and taste-and-odor compounds in drinking water source and their removal in a full-scale drinking water treatment plant. *Toxins*, 10. (2018), 1. 26. Online: <https://doi.org/10.3390/toxins10010026>
- Shi, Honglan – Jie Ding – Terry Timmons – Craig Adams: pH effects on the adsorption of saxitoxin by powdered activated carbon. *Harmful Algae*, 19. (2012). 61–67. Online: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2012.05.008>
- Teixeira, Margarida Ribau – Franciele Pereira Camacho – Vânia Serrão Sousa – Rosângela Bergamasco: Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. *Journal of Cleaner Production*, 162. (2017). 484–490. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.004>
- Terin, U. C. – L. P. Sabogal-Paz: Microcystis aeruginosa and microcystin-LR removal by household slow sand filters operating in continuous and intermittent flows. *Water Research*, 150. (2019). 29–39. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.055>
- Testai, Emanuela – Franca M. Buratti – Enzo Funari et alii: Review and analysis of occurrence, exposure and toxicity of cyanobacteria toxins in food. *EFSA Supporting Publications*, 13. (2016), 2. 998E. Online: <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2016.EN-998>
- Vasas Gábor: *Algavirágzások környezetterhelése és toxinjainak variabilitása*. MTA doktori értekezés. Debreceni Egyetem, 2014.
- Villars, Kathryn – Yuzhou Huang – John J. Lenhart: Removal of the cyanotoxin microcystin-LR from drinking water using granular activated carbon. *Environmental Engineering Science*, 37. (2020), 9. 585–595. Online: <https://doi.org/10.1089/ees.2020.0017>
- Vlad, Silvia – Sigrid Peldszus – William B. Anderson – Peter M. Huck: Anatoxin-a adsorption by virgin and preloaded granular activated carbon. *AWWA Water Science*, 1. (2019), 1. e1116. Online: <https://doi.org/10.1002/aws2.1116>
- Vollenweider, R. A. – Joseph J. Kerekes: *Synthesis report. Cooperative programme on monitoring of inland waters (Eutrophication Control)*. Report prepared on behalf of the Technical Bureau, Water Management Sector Group, Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development, é. n.
- Vuori, Erkki – Anna Pelander – Kimmo Himberg et alii: Removal of nodularin from brackish water with reverse osmosis or vacuum distillation. *Water Research*, 31. (1997), 11. 2922–2924. Online: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00127-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00127-9)

- Wang, Haixiang – Lionel Ho – David M. Lewis et alii: Discriminating and assessing adsorption and biodegradation removal mechanisms during granular activated carbon filtration of microcystin toxins. *Water Research*, 41. (2007), 18. 4262–4270. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.05.057>
- Weir, Mark H. – Traven A. Wood – Amy Zimmer-Faust: Development of methods to estimate microcystins removal and water treatment resiliency using mechanistic risk modelling. *Water Research*, 190. (2021), 116763. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116763>
- Welch, Eugene B.: Should nitrogen be reduced to manage eutrophication if it is growth limiting? Evidence from Moses Lake. *Lake and Reservoir Management*, 25. (2009), 4. 401–409. Online: <https://doi.org/10.1080/07438140903323757>
- Westrick, Judy A. – David C. Szlag – Benjamin J. Southwell – James Sinclair: A review of cyanobacteria and cyanotoxins removal/inactivation in drinking water treatment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397. (2010), 5. 1705–1714. Online: <https://doi.org/10.1007/s00216-010-3709-5>
- Wolter, Klaus-Dieter: Restoration of Eutrophic Lakes by Phosphorus Precipitation, with a Case Study on Lake Gross-Glienicker. In Martina Eiseltová (szerk.): *Restoration of lakes, streams, floodplains, and bogs in Europe*. Dordrecht, Springer, 2010. 85–99. Online: https://doi.org/10.1007/978-90-481-9265-6_7
- Xu, Jie – Yanxia Zhao – Baoyu Gao – Qian Zhao: Enhanced algae removal by Ti-based coagulant: Comparison with conventional Al- and Fe-based coagulants. *Environmental Science and Pollution Research*, 25. (2018), 13. 13147–13158. Online: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1482-8>
- Zamyadi, Arash – Sarah Dorner – Sébastien Sauvé et alii: Species-dependence of cyanobacteria removal efficiency by different drinking water treatment processes. *Water Research*, 47. (2013), 8. 2689–2700. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.040>

Szabványok

MSZ 450-2:1991 Ivóvíz. Minősítés mikroszkopikus biológiai vizsgálat alapján
ISO 20179:2005 Water quality – Determination of microcystins – Method using solid phase extraction (SPE) and high performance liquid chromatography (HPLC) with ultraviolet (UV) detection

Jogi források

A Tanács 98/83/EK Irányelve (1998. november 3.) az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről
Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról
201/2001. (X. 25.) Kormányrendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
Az Európai Parlament és a Tanács 2006/7/EK irányelve (2006. február 15.) a fürdővizek minőségéről és a 76/160/EGK irányelv hatályon kívül helyezéséről
78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet a természetes fürdővizek minőségi követelményeiről, valamint a természetes fürdőhelyek kijelöléséről és üzemeltetéséről
Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2020/2184 irányelve (2020. december 16.) az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről

Internetes források

EPA: *Preventative Measures for Cyanobacterial HABs in Surface Water*. United States Environmental Protection Agency. Online: www.epa.gov/cyanohabs/preventative-measures-cyanobacterial-habs-surface-water

Cyanobacterial toxins: Microcystin-LR in Drinking-water. WHO. Online: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/cyanobactoxins.pdf

United States Environmental Protection Agency: *EPA Drinking Water Health Advisories for Cyanotoxins*. é. n. Online: www.epa.gov/cyanohabs/epa-drinking-water-health-advisories-cyanotoxins

Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság: *A Balaton és a tórések havi vízháztartási jellemzőinek meghatározása, 2019*. 2020. Online: <http://vpf.vizugy.hu/reg/kdtvizig/doc/Balaton%20vizmerleg%202019.pdf>

Fehér András Tibor¹  – Négyesi Imre² 

Mesterségesintelligencia-alapú kibertértámadási modellek

Artificial Intelligence–based Cyberattack Models

Az infokommunikációs rendszerek biztonságát fenyegető veszélyek egy egészen új generációját jelentik azok a kibertámadások, amelyeknél a támadók a mesterséges intelligencia erejét is felhasználják. Az alábbiakban néhány konkrét támadási modell bemutatását tűztük ki célul, hogy érzékeltsük a veszély nagyságát, és javaslatokkal szolgáljunk a veszély elhárításának megszervezéséhez.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, kibertér, kibertámadás, rajvírus, deeplocker, CAPTCHA

A whole new generation of threats to the security of computer systems are cyberattacks in which attackers also use the power of artificial intelligence. In the following, we aim to present some specific attack models to illustrate the magnitude of the threat and provide suggestions for organising its prevention.

Keywords: artificial intelligence, cyberspace, cyberattack, swarm virus, deeplocker, CAPTCHA

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, gyakorlati oktató, e-mail: feher.andras@uni-nke.hu

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, egyetemi docens, e-mail: negyesi.imre@uni-nke.hu

1. Bevezetés

Bőséges szakirodalom lelhető fel mind a mesterséges intelligencia³ (MI), mind a kibertéri műveletek⁴ szakterületeihez kapcsolódóan külön-külön, még magyar nyelven is. A két terület közös halmazáról azonban magyar nyelven véleményünk szerint nem áll rendelkezésre elegendő publikáció az érdeklődők számára, ezért megpróbáltuk néhány tanulmányban áttekinteni a problémát. Egy írásban bemutattuk annak okait, hogy miért csak az MI-alapú kibervédelem lesz képes a jövő kihívásait teljesíteni.⁵ Jelen kutatásban azonban a támadásokra fogunk koncentrálni, ezért először szükséges röviden összefoglalni (azt, amit egy másik, megjelenés alatt álló publikációnkban fejtünk ki), hogy a kibertámadásokban milyen lehetőségei vannak az MI-nek.

Először is, a technológia fejlődésével megnőtt a digitális támadási felület, a nagyobb felületen pedig az MI van előnyben. Újra kell gondolni a sérülékenységek eddigi kezelését is, hogy a sérülékenységi adatbázisokat ne használhassa egyetlen támadó sem az MI tanítására. Ijesztő veszély az is, hogy az IoT és az IIoT⁶ eszközrendszerének rései révén támadott MI a fizikai valóságot is veszélyezteti. Ugyanis nem csupán az MI támadhat, hanem az MI és a gigantikus adatbázisfelhők (big data) léte maga is kihasználható, megszerzésük sokféle módon okozhat komoly károkat.⁷ Mindezek mellett a digitális szélhámosság különböző fajtái (az úgynevezett *social engineering*) is szárnyakat kaptak, megtámasztottak az MI révén, és ezek a támadások egyre kifinomultabbá és személyre szabottabbá tudnak válni. Mindezekon felül az MI megsokszorozza a kibertér eddigi aszimmetriáját, és az MI matematikájának fejlődése révén az erre alapozott támadások hatékonysága várhatóan jelentősen megnövekszik. Azonban ezeknél is nagyobb kihívást jelent, hogy a teljesen új, teljesen az MI-n alapuló támadó módszerek kialakulása várható.

Alább két példán keresztül is szemléltetjük ezt a problémát, az MI-n alapuló vírusok újszerűségét és hatékonyságát. Mindkét megoldás az MI-ben lévő rejtőzködési lehetőségek terén újszerű, de eltérő módon. Az egyik a DeepLocker, amely egy lopakodó, tökéletesen álcázott ruhájú, arcú és fegyverű mesterlövészre emlékeztet, aki biztos kézzel iktatja ki a kitűzött célt. A másik a cseh fejlesztésű rajvirus, amely a gyilkos darazsak egy olyan fajára hasonlít, amely képes az ellenük alkalmazott mérgező permetszerre immunissá válni a következő nemzedékében. Harmadik példánk nem vírust mutat be, hanem azt, hogy hogyan tesz elavulttá az MI (a képferismerés) egy, a közelmúltig bevált robotvédelmi eszközt. Ezeket a lehetőségeket forráselemző módszerrel mutatjuk be, majd felvetünk néhány elgondolást a bemutatott példák gyakorlati használatának lehetőségeiről is. Végül pedig megfogalmazunk egy, az e szakterületet érintő jogszabályok és irányelvek végrehajtási utasításaiban felhasználható javaslatot, amely nem

³ A technológiának nincs szabványos definíciója, számtalan komplementer meghatározás létezik, közös bennük, hogy az emberi gondolkodási képesség számítógépes utánzását (implementációját) célozza, lásd Négyesi Imre: A mesterséges intelligencia és a hadsereg I. *Hadtudományi Szemle*, 10. (2017), 2. 24–28.

⁴ A szembenálló fél feletti kiberfőlény megszerzésére és megtartására irányuló tevékenység. Haig Zsolt: *Információs műveletek a kibertérben*. Budapest, Dialóg Campus, 2018. 234.

⁵ Fehér András Tibor: Mesterséges intelligencia a kibervédelemben. In Szelei Ildikó (szerk): *A hadtudomány aktuális kérdései napjainkban II. kötet*. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó (megjelenés alatt).

⁶ IoT = *Internet of Things*, a dolgok internete; IIoT = *Industrial Internet of Things*, ipari dolgok internete.

⁷ Zoltan Nyikes – Zoltan Rajnai: *Big data, as part of the critical infrastructure*. SISY: IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics. New York, IEEE, 2015. 217–222.

csupán a Magyar Honvédség (MH) tekintetében alkalmazható, de minden nagy informatikai rendszernél is figyelembe vehető.

2. DeepLocker – a láthatatlan mesterlövész

Az IBM Research fejlesztette ki a DeepLockert. Laborkörülmények között hoztak létre egy olyan új malware⁸-fajtát, amely több nyílt forráskódú, tehát könnyen letölthető MI-modell kombinál ismert malware-technikákkal. A cél az volt, hogy felkészülhessünk hasonló támadási helyzetekre. Ez az MI-alapú kibertámadási eszköz az úgynevezett kitérő támadások (lásd lentebb) új, erősen célzott fajtáját implementálja. Amikor a fejlesztés eredményét Marc Ph. Stoecklin és társai bemutatták a 2018-as Black Hat (USA) konferencián,⁹ prezentációjukkal rá akarták irányítani a figyelmet arra, hogy az MI-alapú fenyegetések hamarosan megjelennek, valamint hogy a támadók képesek olyan rosszindulatú programokat létrehozni, amelyek megkerülhetik a manapság általánosan alkalmazott védekezési lehetőségeket.

Az IBM laborkártevője kétféle módon is kiaknázza az MI erejét: a cél azonosításához és a rejtőzködéshez. A DeepLockerben a cél azonosításához az MI-modell olyan triggereket (esemény-indítókát) használ, mint például az arcfelismerés és a hangfelismerés, továbbá képes ez a vírus helymeghatározás alapján is aktiválódni, vagy akár a rendszer típusa alapján, de egy konkrét eszköz valamely azonosítója is lehet az aktiválódás kiváltója. Egy durva hasonlattal élve, a hagyományos kártevők úgy érik el a célszemélyt, hogy egy lángszóróval mindenki mást is letarolnak, a DeepLocker pedig úgy, mint egy rejtőzködő mesterlövész. Sőt, még hatékonyabban, mivel egyszerre több millió rendszert megfertőzhet anélkül, hogy valaki észrevenné – és csak akkor lép működésbe, ha a célokat ezek közül bármelyikén azonosítja. (Tehát ha az adott hangmintát érzékeli, és/vagy ha a fertőzött eszköz egy adott helyszínre kerül, és/vagy ha mondjuk éjszaka van stb.) Ezek alapján világos, hogy igen jelentős fenyegetés egy ennyire célzott módszer mind állami-katonai, mind céges szempontból.

A DeepLocker egyik fő újdonsága a kitérés (elrejtőzés) eddiginél hatékonyabb módszerében van. Ennek megértéséhez pár szóban tekintsük át, mit is jelent ez a kitérés, honnan fejlődött a mai állapotáig. A kitérőtechnikák olyan módszerek, amelyeket a számítógépes támadások használnak a rosszindulatú tevékenységek elrejtésére. A támadások hagyományosan különböző kitérőtechnikákat használnak a biztonsági védelmi rétegek (behatolásmegelőző rendszerek, biztonsági webes átjárók, homokozórendszerek stb.) elkerülésére. A támadó alkalmazhat egy vagy több kitérőtechnikát (például a tartománygeneráló algoritmust, a lassú kommunikációt vagy a véletlenszerű kérésű útvonal technikáit).¹⁰

Már az 1980-as évek vírusainál elkezdtek használni a kitérőtechnikákat. Az 1990-es évektől jelent meg a kód kártékony részének titkosítása, ami lehetetlenné tette a kódrészletek keresésének hagyományos, összehasonlításos módszerét. (Ez ellen hozták létre a biztonsági

⁸ A malware a *malicious software* rövidítése, magyarul rosszindulatú számítógépes program.

⁹ Marc Ph. Stoecklin – Jang Jiyong – Dhilung Kirat: DeepLocker, How AI can power a stealthy new breed of malware. *Security Intelligence*, 2018.

¹⁰ Radware Malware Protection Service: *Evasive Attack Techniques Overview*. Radware, 2018.

oldalán a virtuális környezeteket, ahol következmény nélkül el lehet érni, hogy a kártevő aktiválódjon. A virtuális védelmi környezet, más néven *sandbox* („homokozó”) egy védelmi módszer arra, hogy „kiugrasszuk a nyulat a bokorból”: a vírust vizsgálat céljára ebben a zárt környezetben aktiváljuk, így igazi rendszerünkben nem képes kárt okozni.) A 2000-es évekre a vírusok már képessé váltak érzékelni, hogy speciális virtuális környezetben (homokozóban) futnak-e, vagy éles rendszeren. Egy 2018. májusi tanulmány¹¹ kimutatta, hogy az elemzett malware-minták 98%-a kiterőtechnikákat alkalmaz. Viszont az IT-biztonság fejlődése ezt a módszert kezdi felszámolni azzal, hogy homokozó helyett úgynevezett „csupasz fém” környezetben tesztelnek (ahol a kártevő nem képes rájönni, hogy tesztkörnyezetben van).¹²

Így a támadók újabb stratégia felé hajlanak: a támadás *célzásával* érik el, hogy kártevőjük rejtve maradjon. A rosszindulatú kód csak akkor töltődik le vagy csomagolódik ki, tehát csak akkor hajtódik végre, ha a célpontot „tiszának” találja. Ennek a „mesterlövész” módszernek egy korai (2010-es), igen hírhedett példája a Stuxnet féreg, amelyet úgy programoztak, hogy csak egy adott gyártótól származó specifikus hardver- és szoftverkonfiguráció jelenlétében aktiválódjon.¹³ Csakhogy ehhez is szükséges valami trigger, a védekező oldal pedig ezentúl ennek felismerére koncentrált. (Vagyis a védelmi program automatikusan rákeres a „ha ez történik, akkor hajtás végre ezt” típusú kódsorokra, azt megtalálva jelez, a szakemberek pedig megtalálhatják a probléma forrását.)

Visszatérve a DeepLockerre, ennél a kártevőnél nem lehet ezt a triggert megtalálni, mivel ugyanúgy titkosítva van, mint a kód kártevő része. Az MI használata teszi szinte lehetetlenné már a „kiváltó körülmények” meglétének felismerését is. Ezt egy mély neurális hálózat (DNN¹⁴) alkalmazásával éri el.

Három fő összetevőt kell tehát alaposan elrejtteni: nem csupán a támadás úgynevezett „hasznos terhét”¹⁵, mint korábban, hanem az indító feltételt (feltételeket) és a feltétel jellegét (típusát) is. Technikailag ezért a DeepLocker három réteggel fedi el magát (lásd 1. ábra):

1. Az első réteg elrejtja, hogy *mi* váltja ki a támadást (arc, hang, hely, rendszer?).
A réteg feladata a cél *típusának* elrejtése (milyen jellegű a támadás célja: személy, szervezet, hardver, szoftver).
2. A második elrejtja, hogy konkrétan *kire* irányul a támadás.
A réteg feladata a konkrét cél elrejtése (pontosan *ki* a támadás célja, vagy *hol* következzen be, netán minden X típusú gépet tönkre kell tennie, vagy csak egy konkrét eszközt stb).
3. A harmadik réteg elrejtja, hogy *mi is fog történni*, ha bekövetkezik a támadás.
A réteg feladata a kártevő titkosítása, vagyis annak álcázása, *hogyan* hajtódik végre a támadás.

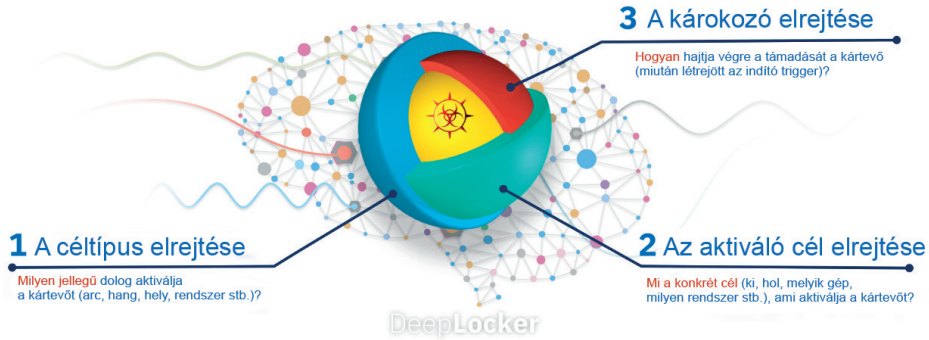
¹¹ Sigi Stefanis: Evasive malware now a commodity. *Security Week*, 2018.

¹² Dhillung Kirat – Giovanni Vigna – Christopher Kruegel: BareBox: efficient malware analysis on bare-metal. *Proceedings of the 27th Annual Computer Security Applications Conference*. Orlando, 2011. 403–412.

¹³ Ezek a konkrét rendszerek a Stuxnet esetében iráni urándúsítók voltak, tehát egy pontosan meghatározott ipari vezérlőrendszer.

¹⁴ *Deep Neural Network*.

¹⁵ Egy vírus esetében a hasznos teher nyilván valami kártékony kód.



1. ábra. A DeepLocker rétegei

Forrás: a szerzők szerkesztése az idézett Stocklin–Jiyong–Kirat-cikkben közölt ábra alapján

A DeepLockerben az MI-modell végzi el ezt az álcázást, maga a neurális hálózat egy feketedobozként rejt el a három kártékony réteget. Csak akkor állítja elő az „indítókulcsot” (trigger), amikor minden elvárt körülmény együtt áll – ám akkor már késő detektálni. Ráadásul olyan sokféle attribútumot használhat a cél azonosításához, hogy a kódfelemzőknek gyakorlatilag még az MI-modell ismeretében is lehetetlen kitalálni, hogy melyek a lehetséges kiváltási körülmények: valaki arca vagy más vizuális nyomok, hely, rendszerinformáció, vagy több dolog együttesen? Tehát a szokásos kérdések is megválaszolatlanok maradnak: mit fog egyáltalán aktiválni a támadás, és hol lehet az elrejtve.

A kutatócsoport a fentiek demonstrálására az ismert WannaCry vírust (zsarolóvírust) álcázta a DeepLockerrel, egy jóindulatú videókonferencia-alkalmazásba rejtve el a kártevőt. Az antivírusprogramok még homokozók használatával¹⁶ sem vették észre a fertőzést.

Kiváltó körülményként az MI-modellt úgy képezték ki, hogy felismerje egy adott személy arcát, és csak ennek hatására bontsa ki és indítsa be a vírust. Képzeljék el, hogy ezt a videókonferencia-alkalmazást több millió ember tölti le, ami manapság sok nyilvános platformon valószínűsíthető forgatókönyv. Indításkor az alkalmazás rejtett módon fényképezőgép-pillanatképeket adagol a beágyazott MI-modellbe, de egyébként minden felhasználó számára normálisan viselkedik – kivéve a kívánt célszemélyt. Amikor az áldozat a számítógép elé ül, és használja az alkalmazást, az arcát észlelve (amely az előprogramozott kulcs volt a feloldásához) a rosszindulatú hasznos teher titokban végrehajtható.

Noha a DeepLockerhez hasonló malware-programot a mai napig nem detektáltak, a készítéséhez használt MI-eszközök nyilvánosan elérhetők, ahogy az alkalmazott malware-technikák is. Csak idő kérdése, mikor jön hír ilyen akcióról. Sőt a vázolt hatékony rejtőzködés miatt akár az is lehetséges, hogy ilyen támadás akár most is folyamatban van.

¹⁶ A dokumentáció nem említi, de a technológia jellegéből adódóan képes lehet a „csupasz fém” környezetek átverésére is.

3. Támadás öngyógyító rajintelligenciával

Nulladik Neumann-elvnek vehetnénk fel, hogy „másoljuk le az élő szervezetek működési elveit”. A híres magyar tudós is tanulmányozta az emberi agy működését, azt vizsgálva, hogyan használhatja fel azt számítógépek tervezéséhez. Később az első MI-modelleket is az emberi agy idegsejtjeinek kapcsolatrendszerére ihlette. Azonban a műszaki tudományok nem csupán az agy működéséből próbálnak ötleteket meríteni, a biológia számtalan felfedezését sikerült már felhasználni, sőt egy új tudomány, a bionika kifejezetten az ilyen lehetőségek számbavételére koncentrál. A mesterséges intelligencia fejlődésével ezek az ötletek „virágba borultak”, és az MI újabb és újabb irányzatai nyílnak meg ily módon. Ezen belül az úgynevezett populációs modellek területe etológiai megfigyeléseken alapul, a hatékonyan működő állatközösségek világából merít.

Az így ihletett MI-irányzat ijesztően ígéretes. A populációs modellek közül a „rajintelligencia” egy olyan új paradigma, amelynek egészen biztos, hogy óriási jövője van. Elsősorban optimalizációs feladatok megoldására kínálnak az eddigieknél sokkal hatékonyabb megoldást. A hangyaboly-intelligenciát¹⁷ alapvetően az útvonal-optimalizációs problémákkal kapcsolatban fejlesztik, a méhraj-intelligenciát¹⁸ pedig a naperóművek optimalizálására. Megemlíthetjük még a mesterséges halrajalgoritmust¹⁹ vagy a szentjánosbogarak (fénylegyek) párzási motívációját használó modellt,²⁰ de számos egyéb ígéretes kutatás is folyik.²¹ Itt azonban csupán arra koncentrálunk, hogy a rajintelligencia rendkívül alkalmas kibertámadások elvégzésére is.

A raji intelligencia lényege, hogy nem sejtekből épül fel, mint az élő szervezetek vagy a többi MI – hanem egyedekből áll, amelyek önmagukban is működő entitások. Ezek az entitások együtt, közösségben sokkal sikeresebben és hatékonyabban képesek a környezeti kihívásoknak megfelelni. Ugyanez a célja ezeknek az informatikai modelleknek is, hogy az entitások egymást segítsék „tapasztalataikkal”, egymástól tanuljanak. A közös tapasztalatokból csiszolódik ki a cél elérésének leghatékonyabb módja. A raj hatékonysága azért is nagy, mert lényegtelen, melyik entitás ér el eredményt, ha valamelyik eléri (például az új táplálékforrást), akkor az egész közösség elérte. Sőt ezek az entitások utódjaikban akár saját (genetikai vagy program-) kód-

¹⁷ Lubomir Sikora: *Swarm Malware – Hejnový virus*. Diplomamunka. Oszttravai Műszaki Egyetem, 2017.

¹⁸ Dervis Karaboga – Bahriye Akay: A survey: Algorithms simulating bee swarm intelligence. *Artificial Intelligence Review*, 31. (2009), 1–4. 61–85.

¹⁹ Kuan-Cheng Lin – Sih-Yang Chen – Jason C. Hun: Botnet detection using support vector machines with artificial fish swarm algorithm. *Journal of Applied Mathematics (Hindawi)*, (2014). 1–9.

²⁰ Kása Richárd: *Döntéscéléselmélet*. Diplomamunka. Miskolc, Miskolci Egyetem, 2014.

²¹ Az érdekesség kedvéért például a pillangóalgoritmus – Iztok Fister et alii: A comprehensive review of firefly algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 13. (2013). 34–46.; a kakukk tojásrakása a Kakukk-keresésben – Xin-She Yang: *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Cambridge, Luniver Press, 2010. 105–116. A farkasvadászlat a Szürke Farkas Optimalizálóban – Faris Hossam et alii: Grey wolf optimizer: a review of recent variants and applications. *Neural Computing and Applications*, 30. (2018), 2. 413–435.; valamint érdekes ezek rendszerezése is: S. Arockia Panimalar: Nature inspired metaheuristic algorithms. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4. (2017), 10. 306–309.

jukat is módosítják, optimálisabbá teszik a közösség tapasztalatai alapján. A természetben is megfigyelhető az ilyen alkalmazkodás, amikor néhány generáció alatt az adott faj egyedeinek képességei valami új helyzethez alkalmazkodnak, például a táplálék változásával átalakul a csőrük, a hőmérséklettel összefüggésben a szőrzetük, vagy egyes belső szerveik erősebbek lesznek, mint más populációban. Az ilyen átalakulás nem a falkavezértől vagy hangyakirálynőtől függ, sok állatfajnál nincs is ilyen vezér. Tehát ennek számítógépes implementációja egy teljesen elosztott rendszer lesz, amely a jelenlegi központi vezérlésű informatikai módszerekkel szemben sokkal életképebbnek tűnik.

Amikor ezt az elvet kibertámadásokra használják, akkor a környezetükhöz alkalmazkodó víruskódok jönnek létre. A különféle hátráltató tényezőket a vírusraj entitásai közlik egymással, és a szükséges módosulásokat maga az MI hozza létre. Ráadásul ez a módszer képes a raj-intelligencia közös tudását felhasználni a kártékony kódok elrejtéséhez (mimikrijéhez) is. Tehát a támadó kód, mint egy kaméleon, az adott környezetnek megfelelő legoptimálisabb technikát alakítja ki az ellen, hogy megtalálják.

Ezek alapján már világos, hogy egy ilyen vírusrajjal hatékonyan lehet tömeges (robusztus) kárt okozni egy vagy sok rendszerben, hiszen:

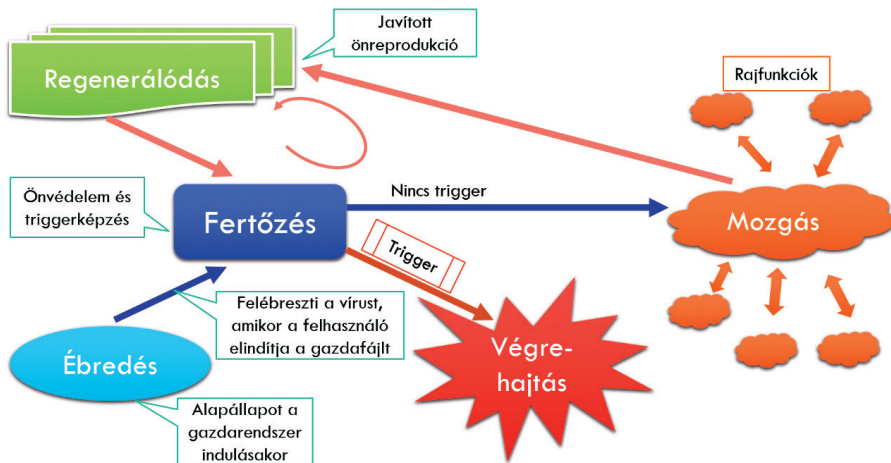
- a rajnak nincs központi vezérlőegysége;
- a rajnak lehet kollektív emlékezete, megoszthatja tudását valamilyen stratégiáról (sikeres/sikertelen), és „tanulhat belőle”;
- így a raj egyfajta közösségi és kommunikációs hálózatot hoz létre, és minden tag különféle módon kommunikálhat másokkal (az információ átadódhat közvetlenül, kiválasztott egyéneken keresztül, egyénről alpopulációra stb.);
- a raj alkalmazkodási képességét rejtőzködésre lehet hasznosítani.

Tehát ha nagy nehezen észre is vesz a védelmi rendszer néhány víruspéldányt, azokat hiába távolítja el, mert az nem érinti a teljes raj működését. Nyilván egy ilyen támadás korábbi más, már bevált rosszindulatú technológiák (féreg, malware-ek) módosításával készül, azok ártó tulajdonságait nagyíthatja fel óriási mértékben.

Egy cseh kutatócsapat az osztravai egyetemen Ivan Zelinka vezetésével publikált is egy olyan vírusstruktúrát, amely ilyen elven működik.²² Laboratóriumukban kísérleti mintát hoztak létre egy rajmalware megvalósítására. Konkrétan egy „klasszikus” botnet-²³ (nem féreg, nem trójai) vírusból indultak ki. Ezt alakították át egy önjavító-önreplikáló kártevőstruktúrára. A célhoz három technológiát ötvöztek: a számítógépes vírus alapelveit, a raj intelligenciáját és a komplex hálózati elemzési képességet. A modell egy néhány állapotból álló véges automata, az alábbiakban ennek lényegét vázoljuk. A kísérleteik során használt vírus állapotainak szerkezete a 2. ábrán látható.

²² Ivan Zelinka et alii: Swarm virus – Next-generation virus and antivirus paradigm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 43. (2018). 207–224.

²³ Botnet – a „robot network” összevonása. A támadó vírussal fertőzött számítógépek seregét használva támad.



2. ábra. A cseh rajvírusmodell

Forrás: a szerzők szerkesztése Zelinka (2018) i. m. 13. ábra alapján

A vírus entitásainak fontosabb állapotai a következők:

1. Felébredési állapot: Ez az állapot akkor aktív, ha a többi víruspéldány még nem működik. A felhasználó által végrehajtott gazdafájl jelzésére ébred fel.
2. Fertőzés állapota: Ez részben a végrehajtási állapothoz kapcsolódik, részben pedig egy önvédelmi funkció. Tehát egyrészt itt jön létre a trigger, amely majd aktiválja a hasznos terhet (kártékony kódot). Ezáltal a vírus a végrehajtási állapotba kerül. Másrészt ez az állapot egy önvédelmi funkció. Abban az esetben, amikor az antivírus felismer néhány víruspéldányt, és karanténba küldi vagy törli őket, ez az állapot idézi elő újabb víruspéldány generálását a gyógyulási állapot segítségével, amelynek eredményeként fenntartható az állandó, optimális víruslétszám.
3. Gyógyulási (regenerálódási)²⁴ állapot: Ennek a műveletnek köszönhető, hogy a raj számossága állandó. Itt a vírus módosítja (megtisztítja) régi példányát a mozgás állapot segítségével, mielőtt egy másik gazdagépre költözik.
4. Mozgás állapot: Ebben az állapotban hajtja végre a rajelveket, itt zajlik a tapasztalatok generálása és átvétele.
5. Végrehajtási állapot: Ez a vírus „robbanótöltete”, ennek van látható (kártékony) hatása. De csak akkor jön működésbe, ha egy trigger aktiválva van – különben figyelmen kívül hagyja, és „lopakodó módban” maradva a mozgás állapotba kerül.

A raj egy adott állapotban kezdi meg futtatását azon állapot alapján, amelyben egy víruspéldány már elindult. Ha ez volt az első végrehajtás az operációs rendszer indítása után, akkor a végrehajtás felébredési állapotban kezdődik. Ha a víruspéldányt más víruspéldány felébresztette,

²⁴ A modell *heal* (gyógyulás) állapotnak hívja, pedig a regenerálódás szó eredeti jelentése sokkal jobban utalna az állapot lényegére, hogy „újjaszületik” a kód, hiszen tényleg új (módosult) kód jön létre.

akkor a fertőzés állapotban kell futtatnia. Ha egy létező víruspéldány a mozgás állapotában tapasztalatokat adott vagy kapott (tehát a rajtudás érvényesült), akkor a gyógyulási (regenerálódási) állapotba kerül, átalakul, és majd már más módon fertőz. Nyilvánvaló, hogy bonyolultabb vírusviselkedés is létrehozható, de ez is jól példázza a módszer lényegi újdonságát.

Sajnos a rajintelligencia használati módjának alaposabb kifejtésére terjedelmi korlátok miatt nincs lehetőség, de még két dolgot meg kell itt említenünk, ami nem közvetlenül kapcsolódik a kibertérhez, azonban katonai szempontból fontos. Az egyik, hogy a harci robotok (drónok, harckocsik, hajók) vezérlése is megvalósítható rajintelligenciával, ami megsokszorozza azt a harcértéket, amely pusztán a raj létszámából adódna. A másik pedig, hogy a rajintelligencia a pszichológiai hadviselés terén is fegyverré válhat. Ha az emberekből és gépekből álló tömeg hatékonyan képes választási eredményeket jóslni, akkor ezt a jóslatot módosítani is képes lehet úgy, hogy megmondja, mit kell tenni, hogy másképp alakuljon az a bizonyos végeredmény. A módszerre jó példa az év embere választás megjósolásának elemzése: Egy UNU nevű rendszer, amelyben az MI és sok ember véleménye együtt dolgozik, nagyon pontos közvéleményjósásra volt képes.²⁵ (Megjegyzendő, hogy az Indiában fejlesztett MogIA nevű rendszer, amely nem rajintelligenciát használ, az amerikai elnökválasztást is többször jól megjósolta²⁶ – tehát más modellek is hatékonyak ilyen téren.)

4. A CAPTCHA-védelem áttörése az MI segítségével

A CAPTCHA²⁷ egy máig használt módszer arra, hogy a webes felületeket megvédjék azoktól a támadásoktól, amelyek automatikusan próbálnak meg fiókokat létrehozni, hozzászólni a fórumokhoz (például reklámokkal szórják teli a kommenteket), tehát kéretlen tartalmakkal zavarják a portál működését. Ehhez az embernek kell bizonyítania, hogy ő valóban ember: olyan feladványt kap, amit gép nem képes megfejtani. Körülbelül 1997-től 2007-ig, tehát 10 éven át szöveges CAPTCHA-védelmet használtak, amelyben a felhasználónak egy eltorzított szöveg karaktereit kell helyesen megadnia, vagy valamilyen egyszerű (például matematikai) kérdésre kell válaszolnia.

Az alábbi példán keresztül jól be tudjuk mutatni a klasszikus, szövegtorzításos CAPTCHA-védelmek feltörhetőségét. A kiberbűnözők már régen képesek erre, ezt saját munkájukban jelen cikk szerzői is megtapasztalhatták. Az általuk üzemeltetett Drupal-alapú portálon két év zavartalan működés után le kellett védeniük a hozzászólásokat CAPTCHA-val, de pár év múlva (körülbelül 2009-ben) új, még erősebb reklámkomment-támadás érte az oldalt. Ha úgy állították be a szöveg torzítását, hogy az ember számára mindig megfejtendő legyen, akkor özönlöttek a reklámhozzászólások is. Ha viszont több homályosító effektet, képpontokból és vonalakból álló zavarásokat adtak hozzá, akkor a reklámposztok ugyan megszüntek, de emberként sem

²⁵ Dom Galeon: A swarm intelligence correctly predicted TIME's Person of the Year. *Futurism*, 2017.

²⁶ Arjun Kharpal: Trump will win the election and is more popular than Obama in 2008, AI system finds. *CNBC*, 2016.

²⁷ *Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart* vagyis egy teljesen automatizált nyilvános Turing-teszt a számítógép és az ember megkülönböztetésére.

lehetett mindig kitalálni, mi is a megfejtése a képrejtvénynek, és igen nehéz lett belépni az oldalra (ami nem felhasználóbarát dolog).

2017 szeptemberében nyilvánossá is vált, hogyan lehet ilyen támadást megvalósítani. Adrian Rosenbrock nem csupán publikált egy ilyen módszert könyve egyik fejezetében,²⁸ de python-kódokat is mellékelte ehhez. Egy bizonyos webhely CAPTCHA-védelmét törte fel az etikus hacker úgy, hogy nagy mennyiségű CAPTCHA-mintakép letöltésével képezett ki egy mélytanuló modellt. Nem sokkal később egy kínai-angol egyetemi együttműködésben készült tanulmány általánosabb kiberfegyversémát mutatott be, sokféle CAPTCHA-védelmen tesztelve azt. Ezt a példát vizsgáljuk meg alaposabban: hogy hogyan törte át a tesztlaborban a különböző CAPTCHA-típusú védelmeket az ellene bevetett mesterséges intelligencia.²⁹

Nem egy tökéletes, minden esetben működő CAPTCHA-törő rendszer elkészítése volt a cél. Csupán azt vizsgálták, hogy meg lehet-e tanítani az erre létrehozott MI-t úgy, hogy nagyobb eséllyel tudja helyes szöveggé értelmezni a torzított szöveget, mint amilyen eséllyel sikertelen marad. Ez a cél megvalósult. Minden vizsgált rendszernél sikerült több-kevesebb lépésben elérni, hogy az esetek legalább 60%-ában képes legyen a helyes karakterek visszaadására. Sőt, több rendszerrel szemben sikerült a 100% elérése. A kutatásban a világ 32 (+1) valaha is legnépszerűbb portáljának szövegtorzító eljárását, annak felismerhetőségét vizsgálták. 20 ezer különféle típusú CAPTCHA-szöveggel tanították a rendszert, figyelembe véve a portálokon tapasztalható torzítási módszereket.

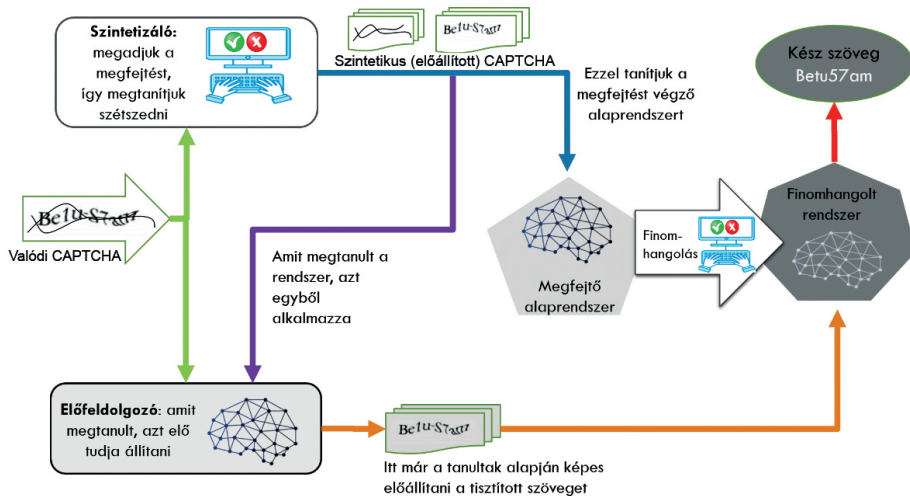
A folyamat röviden így foglalható össze (lásd a 3. ábrán):

1. A szintetizáló modul megpróbálja utánozni a kapott valódi CAPTCHA-típust. Kap egy valódi Captchát, megmondjuk neki a megfejtést, és próbál hasonlót generálni. Először addig próbálgatja torzítani a kapott betűket, míg azok olyanok nem lesznek, mint a kapott, torzított képen. A modul ezáltal egyre inkább „rájön” arra, *hogyan* keletkezett a kép, és képes az eredetihez hasonló, szintetikus CAPTCHA-kat előállítani. Ezt a tudását egyrészt átadja egy előfeldolgozó modellnek, másrészt CAPTCHA-képeket szolgáltat a megfejtő alaprendszer tanításához.
2. Az előfeldolgozó MI-modellje a szintetizálótól kapott algoritmus segítségével fejlődik. Már emberi tanítás nélkül képes lesz a kapott valódi CAPTCHA-ban elkülöníteni a pont-, felhő-, vonal- és egyéb torzításokat, valamint megállapítani a betűtípust. Az így kapott eredmény a rendszer finomhangolásánál használható fel.
3. A szintetizáló és az előfeldolgozó nagyszámú képet generál. A szintetizáló képeivel megtanítjuk a megfejtő alaprendszert, hogyan torzítsa a képszöveget úgy, hogy utána majd képes legyen felismerni.
4. Még finomhangolásra is szükség van, mivel a megfejtő alaprendszer egy tisztább, de még torz szöveget ad eredményül. Ehhez használjuk az előfeldolgozó modelltől kapott képeket, és azokkal addig taníthatjuk (finomhangoljuk) rendszerünket, míg a kívánt 50%

²⁸ Adrian Rosebrock: *Deep Learning for Computer Vision with Python*. Philadelphia, PyImageSearch, 2017. 287–307.

²⁹ Guixin Ye – Zhanyong Tang et alii: Yet another text captcha solver: A generative adversarial network based approach. *Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*. 2018. 332–348.

felletti felismerési rátát el nem érjük. Azzal, hogy a támadásnak nagyobb esélye van arra, hogy áttöri a védelmet, mint arra, hogy nem töri át, bebizonyítottuk, hogy a módszer nem alkalmas a védelemre.



3. ábra. CAPTCHA-feltörés MI-vel

Forrás: a szerzők szerkesztése Zhanyong (2018) i. m. 2. ábra alapján

A régebbi oldalak ilyen védelmét alig több mint 10 finomhangolási lépés után 100%-ban áttörték. A Yahoo! eredményei a legjobbak, de a támadó rendszer ott is átlépte az 50%-os határt 19 finomhangolási lépés után.³⁰ Tehát (bár néhol nehezebben és még tökéletlenül) már ez a prototípus MI is elbánt minden betűképtorzító védelemmel. Levonhatjuk a tanulságot: ez egyértelműen a képszövegfelismerés-alapú robotellenes védelmi technika végét jelenti.

A példa szemlélteti és előrevetíti azt is, hogy új alapokra kell helyezni sok más védelmi megoldást is a közeljövőben.

A teljesség kedvéért azonban megjegyezzük, hogy ez az új alapokra helyezés már régen zajlik, és a CAPTCHA egyelőre beláthatatlan ideig képes lesz kiszűrni a robotokat. A fejlettebb CAPTCHA-technikákat ugyanis nem vizsgálta ez a módszer, csak a szövegtorzítást. Mikorra fejlődnek fel olyan szintre a támadó MI-k, hogy képesek legyenek megmondani, például „melyik képen nincs ház”? Ha ezt majd tudni fogja, akkor ki lehet találni újabb és újabb ilyen feladatokat. Kérhetünk egérműveleteket válaszként, hiszen egérmozdulat-utánzásra egyelőre nem képesek az offenzív rendszerek. (Erre a legjobb példa, amit láttam, hogy dobozokat kell sorrendbe pakolni drag&drop technikával.)

A portálok üzemeltetői tehát még jó néhány éven át használhatnak olcsó és jó CAPTCHA-védelmet az automatizált, nem célirányos támadások ellen.

³⁰ Roberto Iriondo: Breaking CAPTCHA using machine learning in 0.05 seconds. *Towards Ai*, 2018.

Viszont ha ilyen ütemben felfejlődik az MI, és már mindent képes megoldani, eljutunk oda, hogy a CAPTCHA-technika lehet a Turing-teszt egyik utódja. Akkor definiálható lesz egy olyan „szuper-CAPTCHA”, amely az adott rendszerről meg tudja mondani, hogy ember-e – mégpedig oly módon, hogy a feladvány ember számára túl nehéz lesz, tehát ember nem lesz képes megoldani, viszont az MI igen, így leleplezi magát.³¹

5. Lehetséges támadások az ismertett technológiákkal

A fentebb elemzett konkrét támadó megoldások rávilágítottak arra, hogy a technológiában rejlő potenciálok már nem csupán végtelenek, mint mostanáig – a támadók lehetőségei az MI használatával, immár „végtelenszer végtelenek”. Az újdonságokat a támadók kombinálhatják bevált technikákkal. Alább néhány gondolatindító felvetést fogalmazunk meg arról, hogy néhány ismert támadási technika hogyan erősödhet meg az MI használatával, az eddig bemutatott ötletekből merítve.

Az említett rajntelligencia az elosztott rendszer remek megvalósítása, tehát használata elosztott támadásokra, ezen belül az elosztott túlterhelésekre (DDoS)³² kézenfekvő.³³ Ismert technika, hogy valami időzár alapján egyszerre aktiválódnak a DDoS-t kiváltó zombivírusok, de a fentebb elemzett modellek ötleteit is alkalmazva, egy ilyen támadásnál az MI segítségével sokkal jobban álcáznák a támadást, ahogyan erre a lehetőségre a DeepLockernél rávilágítottunk. Olyasmire lehetne számítani, hogy egy fejlett tartós támadás (APT)³⁴ vagy egyéb negyedik generációs infokommunikációs támadás³⁵ részeként valósulna meg egy MI-alapú DDoS. Egy rajvírusnak például megadhatók olyan triggerok, amelyek egy bizonyos fertőzöttségi szintnél jeleznek. Ráadásul ez a szint lehet külső-belső: a rendszeren kívül százezer kliens, a rendszeren belül minden szerver és munkaállomás – főleg ez utóbbi által lényegesen nagyobb a hatás, mint ha a támadást felfedezik egy-egy részrendszerénél, és ott eliminálják a fertőzést. Tehát nem csupán a szerverek fagynának le, hanem a beavatkozáshoz használható terminálokat is használhatatlanná tennék, sőt a helyiséget vagy épületet is lezárhatnák, vagy minden ajtót lezárhatatlanná tehetnének.

Másik példaként gondoljuk át, hogy milyen valószínű olyan katonai kártevők fejlesztése, amelyek az ellenség vezetés-irányítási rendszereit, infokommunikációs eszközeit, járműveit vagy egyéb harci technikáit fertőzik meg. Így azokat kellő időben használhatatlanná tennék, vagy átvennék fölöttük az irányítást. Ennek eredményeképpen a szuperfejlett technológiák szuperdrága fémhalmazzá válnának, vagy akár a saját erőik ellen fordulhatnak. A fentebb vázolt MI-alapú rejtőzködési technikák egészen bizonyos, hogy használhatók lennének ilyen célokra. Ezek segít-

³¹ Roman V. Yampolskiy: AI-complete CAPTCHAs as zero knowledge proofs of access to an artificially intelligent system. *International Scholarly Research Notices Artificial Intelligence*, (2012). 1–6.

³² *Distributed Denial of Service*. A feldolgozhatatlan mennyiségű kérés sok helyről érkezik a szerverre.

³³ Például www.networkworld.com/article/3289108/the-rise-of-artificial-intelligence-ddos-attacks.html

³⁴ *Advanced Persistent Threat*, észrevétlenül, hosszú időn keresztül zajló, akár többlépcsős rendszertámadás. Lásd Kovács László: *A kibertér védelme*, Budapest, Dialóg Campus, 2018. 141–166.

³⁵ Jobbágy Szabolcs: A negyedik generációs hadviselés infokommunikációs aspektusai – fogalmi kitekintő. *Hadmérnök*, 12. (2017), 1. 203–213.

ségével bármely rendszerelem (fegyver, gép, irányítóközpont), amelybe számítógépet építettek, nyomtalanul megfertőzhető lenne. A fertőzés azért is nyomtalan marad, mivel a triggererek, amelyek aktiválják, lehetnek olyan tényezők együttesen, amelyek talán soha nem aktiválódnak. Például, ha x darab megfertőzött ellenséges eszköz egyszerre lépi át a fertőzést elhelyező ország határát, és valami egyéb megerősítő jelzés is érkezik. Ez a megerősítő jel lehet egy adott frekvencián sugárzott jelsorozat, vagy el lehet rejteni akár egy (várhatóan nem zavart) zenés civil rádióban úgy, hogy három adott zeneszámot egymás után játszanak le. Triggerer lehet a támadási alakzat felvétele is, a lehetőségnek határtalanul finomíthatók, beépíthető számtalan biztonsági lépcső is.

6. Következtetések

Nem szeretnénk sok ötletet adni az esetleges támadóknak, ezért további példák helyett inkább arra a kérdésre adunk választ, hogy mennyi időnk van felkészülni erre a veszélyre és megtenni a megfelelő ellenlépéseket. Ehhez keretet ad hazánk nemzeti biztonsági stratégiája,³⁶ amely említi a problémát, ám az elhárításához szükséges konkrét lépések rögzítése nem ilyen jogszabályok szintjén történik. E mellett Magyarország MI-stratégiája is foglalkozik több pontban a kérdéssel, kijelöli a katonai nemzetbiztonsági célú MI-képességek fejlesztéséért felelős szervezetet (a Katonai Nemzetbiztonsági Szolgálatot),³⁷ tehát a helyzet biztató. Az MH hadrendjében egyelőre nem létezik kibertámadásra szakosodott alegység, ezért a védelem szempontjából vizsgáljuk meg a kérdést. Látnunk kell, hogy a bemutatott példák egyelőre csak demonstrációk, tehát éles környezetben számos probléma adódhat a támadó oldaláról, amelyek miatt a leírt látványos hatás mégsem következik be. Az MH felhasználói és informatikai állományában a biztonság-tudatosság az utóbbi időben jelentősen nőtt, a kibervédelmi eszközpark nem marad el a hasonló erőforrásokkal rendelkező szövetségeseinké mögött – elkerülhetetlen azonban néhány éven belül az MI-alapú kibervédelemre áttérni. Alább javaslatot teszünk egy lehetséges forgatókönyvre.

Első körben megoldást jelent, ha a fejlesztések jövőben tervezett ütemeiben olyan termékeket szerzünk be (akár ugyanattól a hardver- vagy/és szoftvergyártótól), amelyek frissítéseihöz a cég MI-t vesz igénybe. A következő ütemben azonban szükségessé fog válni az ilyen rendszerek szervezetre szabott tanítása, amelyhez olyan speciálisan szakképzett humán erőforrás szükséges, amelynek képzése hazánkban még sehol sem kezdődött meg. (Kiberbiztonsági és mesterségesintelligencia-képzések zajlanak, azonban egy MI-alapú kibervédelem folyamatos tanításához a kettő együttes ismerete szükséges.) A katonai üzemeltető állomány akkor vonható be ilyen feladatba, ha a gyártók az ilyen rendszerek tanítását leegyszerűsítik annyira, hogy az operátori szinten is használható legyen – ez azonban egyelőre nincs a látóhatáron. Egyelőre tehát nem vagyunk elkésve, bízhatunk abban, hogy az elmúlt években tapasztalható gyors fejlődés lendületével az ilyen új generációs kibervédelem is idejében megvalósul mind a védelmi szféra, mind pedig az állami szféra szintjén.

³⁶ 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról, 160–162. pont. 106.

³⁷ Mesterséges Intelligencia Koalíció: *Magyarország Mesterséges Intelligencia Stratégiája, 2020–2030*. Budapest, Innovációs és Technológiai Minisztérium, 2020. 52.

Felhasznált irodalom

- Dervis, Karaboga – Bahriye Akay: A survey: Algorithms simulating bee swarm intelligence. *Artificial Intelligence Review*, 31. (2009), 1–4. 61–65. Online: <https://doi.org/10.1007/s10462-009-9127-4>
- Fehér András Tibor: Mesterséges intelligencia a kibervédelemben. In Szelei Ildikó (szerk.): *A hadtudomány aktuális kérdései napjainkban. II. kötet*. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó (megjelenés alatt).
- Fister, Iztok – Xin-She Yang – Janez Brest: A comprehensive review of firefly algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 13. (2013). 34–46. Online: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2013.06.001>
- Galeon, Dom: A swarm intelligence correctly predicted TIME's Person of the Year. *Futurism*, 2017. Online: <https://futurism.com/swarm-intelligence-correctly-predicted-times-person-of-the-year>
- Haig Zsolt: *Információs műveletek a kibertérben*. Budapest, Dialóg Campus, 2018.
- Hossam, Faris – Ibrahim Aljarah – Mohammed Azmi Al-Betar – Seyedali Mirjalili: Grey wolf optimizer: A review of recent variants and applications. *Neural Computing and Applications*, 30. (2018), 2. 413–435. Online: <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3272-5>
- Iriondo, Roberto: *Breaking CAPTCHA using machine learning in 0.05 seconds*. Towards AI, 2018. Online: <https://medium.com/towards-artificial-intelligence/breaking-captcha-using-machine-learning-in-0-05-seconds-9feefb997694>
- Jobbágy Szabolcs: A negyedik generációs hadviselés infokommunikációs aspektusai – fogalmi kitekintő. *Hadmérnök*, 12. (2017), 1. 203–213.
- Kása Richárd: *Döntésmélet*. Diplomamunka. Miskolc, Miskolci Egyetem, 2014.
- Kharpal, Arjun: Trump will win the election and is more popular than Obama in 2008, AI system finds. *CNBC*, 2016. Online: www.cnn.com/2016/10/28/donald-trump-will-win-the-election-and-is-more-popular-than-obama-in-2008-ai-system-finds.html (Magyarul: https://hvg.hu/tudomany/20161029_donald_trump_lesz_az_elnok_josolja_a_mesterseges_intelligencia)
- Kirat, Dhilung – Giovanni Vigna – Christopher Kruegel: BareBox: Efficient Malware Analysis on Bare-Metal. *Proceedings of the 27th Annual Computer Security Applications Conference*. Orlando, 2011. Online: <https://doi.org/10.1145/2076732.2076790>
- Kovács László: *A kibertér védelme*. Budapest, Dialóg Campus, 2018.
- Lin, Kuan-Cheng – Sih-Yang Chen – Jason C. Hun: Botnet detection using support vector machines with artificial fish swarm algorithm. *Journal of Applied Mathematics (Hindawi)*, (2014). 1–9. Online: <https://doi.org/10.1155/2014/986428>
- Mesterséges Intelligencia Koalíció: *Magyarország Mesterséges Intelligencia Stratégiája, 2020–2030*. Budapest, Innovációs és Technológiai Minisztérium, 2020. Online: <https://digitalisjoletprogram.hu/files/2f/32/2f32f239878a4559b6541e46277d6e88.pdf>
- Négyesi Imre: A mesterséges intelligencia és a hadsereg I. *Hadtudományi Szemle*, 10. (2017), 2. 23–34.
- Nyikes, Zoltan – Zoltan Rajnai: *Big data, as part of the critical infrastructure*. *SISY: IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*. New York, IEEE, 2015. 217–222. Online: <https://doi.org/10.1109/SISY.2015.7325383>
- Panimalar, S. Arockia: Nature inspired metaheuristic algorithms. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4. (2017), 10. 306–309.
- Radware Malware Protection Service: *Evasive Attack Techniques Overview*. Radware, 2018. Online: <https://downloads.seculert.com/documents/Evasive%20Attack%20Techniques%20Overview.pdf>
- Rosebrock, Adrian: *Deep learning for computer vision with Python*. Philadelphia, PyImageSearch, 2017.
- Sikora, Lubomir: *Swarm Malware – Hejnový virus*. (Diplomamunka.) Oszttravai Műszaki Egyetem, 2017.
- Stefnisson, Saggi: Evasive malware now a commodity. *Security Week*, 2018. Online: www.securityweek.com/evasive-malware-now-commodity
- Stoecklin, Marc Ph. – Jang Jiyong – Dhilung Kirat: DeepLocker, How AI can power a stealthy new breed of malware. *Security Intelligence*, 2018. Online: <https://securityintelligence.com/deeplocker-how-ai-can-power-a-stealthy-new-breed-of-malware>

- Ye, Guixin – Zhanyong Tang et alii: Yet another text CAPTCHA solver: A generative adversarial network based approach. *Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*. 2018. 332–348. Online: <https://doi.org/10.1145/3243734.3243754>
- Yang, Xin-She: *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Cambridge, Luniver Press, 2010.
- Yampolskiy, Roman V.: AI-complete CAPTCHAs as Zero Knowledge Proofs of Access to an Artificially Intelligent System. *International Scholarly Research Notices Artificial Intelligence*, (2012). 1–6. Online: <https://doi.org/10.5402/2012/271878>
- Zelinka, Ivan – Swagatam Das – Lubomir Sikora – Roman Šenkeřík: Swarm virus – Next-generation virus and antivirus paradigm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 43. (2018). 207–224. Online: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.05.003>

Jogi forrás

1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról

Szűcs Herman¹ 

CFD-szimuláció folyamatának kockázatelemzése

Risk Analysis of CFD Simulation Process

A CFD-szimulációk folyadékok áramlástani és transzportjelenségeinek vizsgálatára széles körben használatosak az ipar számos területén. Ennek oka, hogy a fejlesztési folyamatban nem szükséges költséges prototípusokat legyártani, illetve olyan paraméterek is vizsgálhatók, amelyek laboratóriumi mérésekkel nem. Ezen felül a CFD-szimulációk a hadiipar számára is széles körű alkalmazási területeket biztosítanak. A cikk a CFD-szimulációk folyamatát és lépéseit mutatja be, majd a folyamatra készített kockázatelemzést. A CFD-szimulációkra végzett kockázatelemzés segít feltárni a folyamat kritikus lépéseit és kimeneteleit, továbbá a szimulációs folyamatban rejlő fejlesztési potenciált is megmutatja.

Kulcsszavak: CFD-szimuláció, folyamat, kockázatelemzés, Leopold-mátrix

CFD simulations are widely used in numerous areas of the industry to study the flow and transport phenomena of fluids. The reason for this is that in the development process it is not necessary to produce expensive prototypes, and parameters that cannot be examined by laboratory measurements can also be tested. Besides, CFD simulations also provide a wide range of applications for the military industry. The article presents the process and steps of CFD simulations, followed by a risk analysis for the process. The risk analysis for CFD simulations helps to reveal the critical steps and outcomes of the process and also shows the development potential inherent in the simulation process.

Keywords: CFD simulation, process, risk analysis, Leopold matrix

¹ Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola, PhD-hallgató; Audi Hungaria Zrt., fejlesztőmérnök, e-mail: szucsherman@outlook.hu

1. Bevezetés

A Computational Fluid Dynamics (CFD) szerepe a mérnöki előrejelzésekben olyan erőssé vált, hogy napjainkban a folyadékdinamika új, harmadik dimenziójának tekinthető a másik két dimenzió, a tiszta kísérlet és a tiszta elmélet klasszikus esetei mellett. 1687-től, amikor Isaac Newton lefektette a klasszikus mechanika alapjait, az 1960-as évek közepéig az úttörő kísérletek és az alapvető elméleti elemzések kombinációja hozzájárult a folyadékmechanika fejlődéséhez. A különböző kísérletek szinte mindig az áramlás egyszerűsített modelljeinek használatát igényelték azért, hogy az áramlást leíró alapegyenletek zárt formájú megoldásait megkapják. Ezeknek a zárt formájú megoldásoknak az előnyük az, hogy azonnal azonosítják a probléma néhány alapvető paraméterét, és kifejezetten bemutatják, hogy a problémákra adott válaszokat hogyan befolyásolják a paraméterek eltérései. Hátrányuk, hogy nem tartalmazzák az áramlás összes szükséges fizikáját. Ebbe a képbe az 1960-as évek közepén lépett a CFD, amely azon képességével, hogy „pontos” formában tudja kezelni az alapegyenleteket, valamint részletes fizikai jelenségek bevonásával, gyorsan népszerű eszköz lett a mérnöki elemzésekben. Ma a CFD támogatja és kiegészíti a tiszta kísérletet és a tiszta elméletet. Összefoglalva, a CFD állandó helyet foglal el az áramlástan minden aspektusában, az alapkutatótól a mérnöki tervezésig.²

Természetesen az az eszköz, amely lehetővé tette a CFD gyakorlati elterjedését, a nagy sebességű digitális számítógépek megjelenése. A CFD-megoldások általában több ezer vagy akár millió parciális differenciálegyenlet ismételt számítását igénylik – ezt a feladatot a tudomány mai állása szerint analitikusan nem lehetséges megoldani valós komplex esetekben, csupán egyszerű áramlástani feladatoknál. A számítógép segítségével csupán numerikus, azaz közelítő megoldások realizálhatók. Ezért a CFD fejlődése, valamint alkalmazása az egyre részletesebb és kifinomultabb problémákra szorosan kapcsolódik a számítógépes hardver fejlődéséhez, különös tekintettel a tárolási (memória) és a végrehajtási sebességre (processzor). Éppen ezért az új szuperszámítógépek fejlődését ösztönző legjelentősebb erő a CFD-közösség részéről származik.³

A folyadékáramlás fizikai vonatkozásait három alapelv vezérli, amelyeken az összes folyadékdinamika, illetve azok szimulációs szoftverei alapulnak:⁴ 1. tömegmegmaradás; 2. lendületmegmaradás (Newton második törvénye); 3. energiamegmaradás törvénye.

Ezeket az alapelveket kifejezhetjük matematikai egyenletekkel, amelyek legáltalánosabb formájukban többnyire parciális differenciálegyenletek. A számítási folyadékdinamika részben az a tudományág, ahol az áramlás parciális differenciálegyenleteit számokkal helyettesíti, és ezeket a számokat térben és/vagy időben előre lépteti, ami a teljes vizsgált áramlási mező numerikus leírását adja meg. Ez nem a CFD mindent magában foglaló meghatározása; vannak olyan problémák, amelyek lehetővé teszik az áramlási mező azonnali megoldását anélkül, hogy előre kellene léptetni az időben vagy a térben, és vannak olyan alkalmazások, amelyek integrálegyenleteket tartalmaznak, nem pedig parciális differenciálegyenleteket. Mindenesetre minden ilyen probléma magában foglalja a számok manipulálását és egyenletek megoldását.

² John D. Anderson: Governing equations of fluid dynamics. In John W. Wendt (szerk.): *Computational fluid dynamics, An introduction*. Berlin, Springer, 2009. 15–51.

³ Anderson (2009) i. m.

⁴ Anderson (2009) i. m.

A CFD végterméke valójában számok gyűjteménye, ellentétben a zárt formájú analitikai megoldással. Hosszú távon azonban a legtöbb mérnöki elemzés célja zárt formában vagy másként a probléma kvantitatív leírása, vagyis a számok.⁵

A CFD-szimulációk fontosak a hadiipar számára, különösen a repülőgéptervezésben, ahol rendkívül komplex áramlások valósulnak meg komplex geometriák körül. A CFD-szimuláció ez esetben egy olyan alkalmas eszközt, illetve környezetet biztosít a tervezésben, amellyel a valós fizikai folyamatok modellezhetők. CFD-szimulációval vizsgálható továbbá a töltény hiperszonikus áramlása is, amelynek segítségével a lövedék repülési stabilitása növelhető és aerodinamikai optimalizálása elvégezhető. A CFD-szimuláció alkalmas repülőgéphordozó körül kialakult áramlás, különböző szélirányok és az azok által keltett turbulencia elemzésére is. Bomba és üres tüzelőanyag-tartály légi járműről történő leválásának CFD-szimulációja segítségével az ütközés elkerülhető a repülőgéppel, ezáltal a biztonság szintje növelhető, és a katasztrófális balesetek megelőzhetőek. A helikopterek aerodinamikája és a rotor körüli áramlás egyaránt vizsgálható CFD-szimulációval.⁶

2. A CFD-szimulációk folyamata

Általánosságban egy CFD-szimuláció futtatásához egy folyamatot kell követni, különös tekintettel az ipari környezetre, illetve komplex esetekre. Ezáltal függetlenül az áramlástani problémától, azonos felépítésű lesz a modell, ami egyszerűbb, gyorsabb, átláthatóbb szimulációhoz vezet. Egy a szerző által alkalmazott általános folyamat az 1. ábrán látható.⁷

Első lépésben a számítási tartományt kell definiálni, ami további lépésekre bontható. Ehhez a geometriát kell beolvasni a CFD-szoftverbe, ami komplex esetekben egy 3D modellt jelent, ezért CAD-környezetben kell elkészíteni, illetve előkészíteni a CFD-szimulációhoz. Ezután a számítási paramétereket kell meghatározni, ami azon változókat jelenti, amelyeket a szimulációval meg szeretnénk határozni, például sebesség, nyomás, hőmérséklet, sűrűség. A beolvasott geometrián definiálni kell a peremfeltételeket, azaz a számítási tartomány határoló részeit. Minden esetben szükséges egy bemenet, ahol a folyadék beáramlik, illetve egy kimenet, ahol kiáramlik. Ezen felül az összes határoló részt definiálni kell, például fal, szimmetria stb. megadható. Ez a számítási problémától függ.

⁵ Anderson (2009) i. m.

⁶ Michel Delanaye et alii: *From CAD to adapted solution for error controlled CFD simulations*. RTO AVT Symposium on "Reduction of Military Vehicle Acquisition Time and Cost Through Advanced Modelling and Virtual Simulation". Paris, France, 2002; Ulrich Kowarsch – Manuel Keßler – Ewald Krämer: *CFD-simulation of the rotor head influence to the rotor-fuselage interaction*. European Rotorcraft Forum, Southampton, 2014; Aleksander Olejnik – Adam Dziubiński – Łukasz Kizskowiak: Separation safety analysis using CFD simulation and remeshing. *Aerospace Science and Technology*, 106. (2020). 1–10.; Jian Shen et alii: Aerodynamics analysis of a hypersonic electromagnetic gun launched projectile. *Defence Technology*, 16. (2020), 4. 753–761.; Neale A. Watson et alii: Computational and experimental modelling study of the unsteady airflow over the aircraft carrier HMS Queen Elizabeth. *Ocean Engineering*, 172. (2019). 562–574.; Berkay Yasin Yildirim – Görkem Demir – Onurhan Ayhan: *Computational fluid dynamics modeling of a mortar bomb separation from a fixed-wing aircraft*. AIAA Scitech 2020 Forum, 2020.

⁷ Szűcs Herman: *Konstruktive Auslegung des EA855 Kühlkreislaufes im Hinblick auf EU7 Abgasnorm*. MSC-diplomadolgozat. Széchenyi István Egyetem, 2020.



1. ábra. CFD-szimulációk általános folyamata

Forrás: Szűcs (2020) i. m.

Második lépésben a numerikus módszert kell definiálni, amely további két lépésre bontható. A szoftver meghatározása kiemelt fontosságú, és normál esetben már nulladik lépésként kiválasztják. Ekkor csupán a szükséges programkiegészítőket kell kiválasztani, amelyek igazodnak a számításos tartományhoz. Ezt követően a differenciálegyenleteket kell definiálni, amelyeket minden egyes cellában megoldanak. Kereskedelmi szoftverek esetében ez a lépés a fizika kiválasztását jelenti, azaz kiválasztanak minden fizikai paramétert/tulajdonságot, és a program ezekhez definiálja az egyenleteket. Minden kereskedelmi forgalomban kapható program hasonlóan működik, viszont a CFD-mérnöknek ismernie kell annak hátterét.

Harmadik lépésben az áramlási szimulációt kell előkészíteni, ami további három lépésre bontható fel. Definiálni kell a parciális differenciálegyenletek kezdeti értékét, azaz $t = 0$ időpontban, feltéve, ha időben változó (*unsteady-state*) szimulációt futtatunk. Állandósult állapotbeli (*steady-state*) szimulációkhoz is definiálni kell a kezdeti értékeket, de ott a kezdeti iteráció értékét definiáljuk. Az első lépésben megadott/kiválasztott peremeken definiálni kell a differenciálegyenletek értékét, a kezdeti értékeknek megfelelően. Végül a konvergenciakritériumokat kell megadni, ami a szimuláció pontosságát rögzíti. Korábban említettem, hogy a CFD-szimulációk esetében néhány alaproblémától eltekintve analitikus megoldás nem lehetséges, csak numerikus. Ezzel a kritériummal kvázi a numerikus hiba nagyságát lehet konkretizálni.

Negyedik lépés a háló generálása, ami két fő lépésre bontható: felületi és térfigati háló generálása. A háló minden egyes cellájában lesznek kiszámítva a vizsgált paraméterek, azaz minden egyes cella tartalmazza a meghatározott parciális differenciálegyenleteket. A felületi háló létrehozása is további két lépésre bontható fel: globális és lokális háló generálása. Globális

háló alatt egy olyan felületi háló értendő, amely a teljes tartományt lefedi, viszont nincs besűrítve ott, ahol nagy gradiensek várhatók. A lokális háló esetében a globális hálót kell finomítani, azaz sűríteni a számításos tartomány azon részein, ahol a paraméterek változása várhatóan nagy. Végül a térfogati háló generálása következik. Általánosan kijelenthető, hogy a hálót ott kell sűríteni, ahol nagy gradiensek várhatók.

A szimuláció futtatását követően az eredményeket verifikálni kell, ami a következő kérdésre adja meg a választ: „Helyesen oldottuk meg az egyenleteket?” Azaz ellenőrizni kell, hogy a definiált egyenletek megoldása során a numerikus hiba határértéken belül van-e. A gyakorlatban ehhez a lépéshez hálófüggetlenségi tesztet oldanak meg a CFD-mérnökök. Ez a teszt azt jelenti, hogy a hálósűrűséget kétszeresére kell növelni, majd monitorozni egy adott paraméter (például nyomás) értékét, azaz változását. Ha a változás még érzékelhető, a hálót tovább kell sűríteni. Ha a paraméter értéke már nem változik, akkor az eggyel ritkább háló az ideális a szimuláció számára, és kijelenthető, hogy azzal a hálóval a numerikus hibák határértéken belüliek.

A verifikációt követi a validáció, ahol a következő kérdésre kell megadni a választ: „A helyes egyenleteket oldottuk meg?” Ehhez kísérleteket kell végrehajtani és a szimuláció eredményét ahhoz hasonlítani, vagy teóriával kell összevetni a szimuláció eredményét. Egyszerű esetben a teória a jobb döntés, viszont komplex esetekben sajnos nem mindig áll rendelkezésre teória, ezért ekkor kísérleteket kell végrehajtani, hogy validálni tudjuk a szimulációt. Fontos kijelenteni, hogy ipari környezetben nem kell minden egyes futtatott szimulációt validálni. Adott áramlási probléma esetében egy kidolgozott folyamat is elegendő, és a folyamatot kell validálni. Ezt követően pedig csak azt kell ellenőrizni, hogy a folyamatot követtük-e az áramlási probléma szimulálása során.

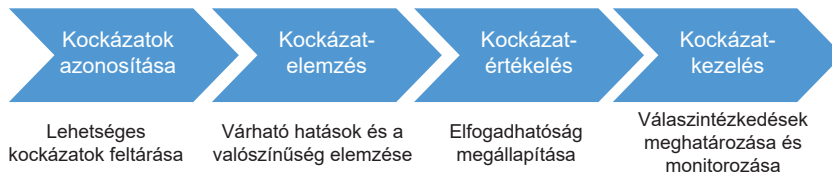
Sikeres verifikációt és validációt követően elkezdhető a szimuláció eredményeinek kiértékelése. Ez a lépés magában foglalja a vizsgált paraméterek vizualizálását (ábra és grafikon segítségével). Végül projekttől és beszámolási kötelezettségtől függően egy riportot kell készíteni a szimuláció eredményeiből, azok kiértékeléséből. Ezek a riportok is hasonlóképp épülnek fel, mint a jelen folyamat. Riportok esetében a legfontosabb irányelv az, hogy megfelelő háttérudással bárkinek képesnek kell lennie úgymond lemásolni a szimulációt. Ebből következik, hogy nemcsak a „mit”, hanem a „hogyan” kérdésekre is választ kell adnia a beszámolónak. Általánosan kijelenthető, hogy egy fejlesztési folyamatban elsősre nehéz elérni a kívánt eredményt, ezért egy optimalizációs folyamatról beszélhetünk. Ehhez az elkészített riportnak tartalmaznia kell a fejlesztési potenciálokat, amelyek a következő szimuláció alapjaiként szolgálnak. Azaz a szimulációs folyamatot az elejéről meg kell ismételni, és a következtetéseket/ötleteket be kell dolgozni az új geometriába.

3. CFD-szimuláció kockázatelemzése

A CFD-szimuláció általános folyamatát (1. ábra) és fő lépéseit már bemutattam a 2. pontban. Minden szimuláció esetében érdemes definiálni egy folyamatot, mivel erre el lehet végezni egy általános kockázatelemzést, amely a tevékenységek és lehetséges kimenetek közötti kapcsolatot írja le. A hatékonyságot növeli, ha egy általános folyamatot vezetünk be, amely az áramlási problémától függetlenül alkalmazható. Ebből következik, hogy nem kell minden

egyes futtatott szimulációra elvégezni az elemzést, csupán a folyamatot kell követni. Ezek alapján az 1. ábrán bemutatott folyamatra végeztem el a kockázatelemzést.

A kockázatelemzés segítségével a nem kívánt események, körülmények és azok hatása vizsgálható. Számos területen alkalmazható, mint például a szélsőséges időjárási események káros hatásainak, földrengések kockázatának, illetve olajszármazékok talajszennyezésének vizsgálata. A kockázatelemzés folyamatának fő lépése a kockázatok azonosítása, a kockázatelemzés, a kockázatértékelés és a kockázatkezelés (2. ábra).⁸



2. ábra. Kockázatelemzés folyamata

Forrás: a szerző szerkesztése

A kockázatelemzéshez a Leopold-mátrixot választottam, mivel fontos az egyes tevékenységeket külön megvizsgálni, mert a lehetséges hatások erősen feladatspecifikusak. A Leopold-mátrix a grafikus kockázatelemzési módszerek egyik legegyszerűbb megoldása, és Luna B. Leopold nevéhez köthető, amely a várható környezeti hatások elemzésére és a hatások súlyozására készült. Jól alkalmazható folyamatokra, projektekre is. A mátrix soraiban az egyes tevékenységek vannak feltüntetve, amelyek minden esetben bekövetkeznek, mivel egy folyamatról beszélünk. Ezeknek a tevékenységeknek viszont különböző hatásai, kimenetelei lehetnek. Az oszlopokban az egyes problématerületek vagy más körülmények vannak feltüntetve, amelyek a tevékenységet/projektet esetlegesen befolyásolhatják. A mátrix feltöltése többféleképpen történhet, lehet egy x-szel jelölni, ahol hatás jelentkezik, vagy egy számmal jellemezni a hatás mértékét. A mátrix kiegészíthető különböző súlyfaktorokkal: hatás mértéke, bekövetkezés gyakorisága/valószínűsége, felismerhetőség, szabályozhatóság, társadalmi felelősség stb. Egyes változataiban a hatás nagysága és annak jelentősége/fontossága is fel van tüntetve ugyanazon mátrixban, míg mások külön mátrixot készítettek ezekre. Egyik előnye, hogy a mátrix oszlopai és sorai külön is összegezhethők, így a kritikus tevékenységek, problémák feltárhatók. Az összesített eredmények grafikusan is ábrázolhatók. A módszer hátránya, hogy az értékelés szubjektív.⁹

⁸ Beke Dóra – Földi Alexandra – Kuti Rajmund: Közúti balesetek során bekövetkező talajszennyezések és kárelhárítási eljárások vizsgálata. *Hadmérnök*, 14. (2019), 3. 13–20.; Domokos László et alii: Kockázatelemzés és kockázatkezelés a közszférában és a közpénzügyi ellenőrzésben. *Pénzügyi Szemle*, (2015), 1. 7–28.; Kegyes-Brassai Orsolya – Richard P. Ray – Kuti Rajmund: Seismic risk and disaster management perspectives in Hungary, presented on a case study performed in Győr. *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 16. (2017), 2. 5–16.; Kuti Rajmund – Nagy Ágnes: Weather extremities, challenges and risks in Hungary. *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 14. (2015), 4. 299–305.

⁹ Fatin A. Al-Nasrawi – Sumaya L. Kareem – Lilian A. Saleh: Using the Leopold Matrix Procedure to assess the environmental impact of pollution from drinking water projects in Karbala city, Iraq. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 671. (2020), 1–13.; Bosko Josimovic – Jasna Petric – Sasa Milijic: The use of the Leopold Matrix in carrying out the EIA for wind farms in Serbia. *Energy and Environment Research*, 4. (2014), 1. 43–54.; Torma András: *Környezetmenedzsment rendszerek*. 2011.

Első lépésként feltártam a szimulációs folyamat lehetséges nem kívánt kimeneteleit. A CFD-szimulációk esetében a következő nem kívánt eseményeket azonosítottam:

- téves problémadefiniálás,
- nem hálózható geometria,
- szingularitásprobléma,
- numerikus hiba,
- pontatlan eredmény,
- konvergenciaprobléma,
- nagy számítási igény.

A nem kívánt események azonosítását követően az egyes kimeneteket a CFD-szimuláció folyamatához rendeltem. A kockázatok értékeléséhez készítettem egy Leopold-mátrixot (1. táblázat), amelyben a lehetséges nem kívánt kimeneteket tüntettem fel az egyes tevékenységekre. A hatások vizsgálatához, következmények elemzéséhez egy 1-től 4-ig terjedő skálán értékeltem a következmény súlyosságát. A mátrixban alkalmazott skálabeosztás a hatás mértéke: 1 – nincs jelentős hatás, 2 – kis jelentőségű, 3 – közepes jelentőségű, 4 – nagy jelentőségű hatás.

1. táblázat. CFD-szimuláció folyamatának Leopold-mátrixa: hatáselemzés

Lehetséges kimenetel		Téves probléma-definiálás	Nem hálózható geometria	Szingularitásprobléma	Numerikus hiba	Pontatlan eredmény	Konvergencia-probléma	Nagy számítási igény	Összeg
1.	Számítási tartomány definiálása	3	2	3	1	3	3	1	17
2.	Numerikus módszer	1	3	4	4	4	3	2	22
3.	Áramlástan szimuláció előkészítése	1	2	1	4	4	3	2	18
4.	Háló generálása	1	2	3	1	4	3	2	17
5.	Szimuláció verifikálása	1	1	1	4	4	1	2	15
6.	Szimuláció validálása	1	1	1	1	4	1	1	11
7.	Eredmények és kiértékelés	1	1	1	1	4	1	1	13
Összeg		9	12	14	16	27	15	11	

Forrás: a szerző szerkesztése

A fenti táblázatból mind a tevékenységenként, mind a lehetséges kimenetelenként összegzett hatás mértéke leolvasható, ezáltal megállapítható, hogy mely tevékenységek jelentenek nagy kockázatot, mely kimenetel bekövetkezésének van a legjelentősebb hatása.

A folyamat legkritikusabb eleme a numerikus módszer, azaz a szoftver, illetve kiegészítő programcsomagok kiválasztása, valamint a differenciálegyenletek megválasztása, amelyek az aktuális áramlástan esetet a valóságnak megfelelően (elfogadható hibahatáron belül) írják le. A kimenetelre vetítve a téves probléma definiálására nincs jelentős hatása a numerikus

módszernek. Ezenfelül nagy összhatással rendelkezik az áramlástan szimuláció előkészítése a CFD-szimuláció folyamatában. Kiemelném, hogy a lehetséges kimenetek tekintetében a legkritikusabb rész a pontatlan eredmény tekintetében mutatkozik meg. Minden tevékenységre vetítve magas jelentőségű hatása van – kivéve a számítási tartomány definiálását, ami közepes jelentőségű besorolást kapott. Nagy összhatással van még a numerikus hiba a kimenetek tekintetében.

A hatáselemzést követően a lehetséges hatások, illetve negatív kimeneteknek a bekövetkezési valószínűségét kell mérlegelni, amelyhez egy másik mátrixot készítettem. A készített Leopold-mátrix a 2. táblázatban látható. A bekövetkezés valószínűségét egy 1-től 4-ig terjedő skálán értékeltem. A mátrixban alkalmazott skála beosztás a bekövetkezés valószínűsége a következő lehet: 1 – nem jelentős valószínűség, 2 – alacsony bekövetkezési valószínűség, 3 – közepes valószínűség, 4 – magas bekövetkezési valószínűség.

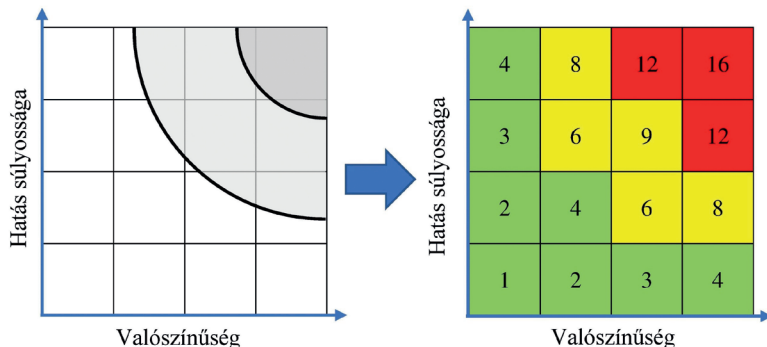
2. táblázat. CFD-szimuláció folyamatának Leopold-mátrixa: a bekövetkezés valószínűsége

Lehetséges kimenetel		Téves probléma-definiálás	Nem hálózható geometria	Szingularitási-probléma	Numerikus hiba	Pontatlan eredmény	Konvergencia-probléma	Nagy számítási igény	Összeg
1.	Számítási tartomány definiálása	3	3	2	1	2	3	1	16
2.	Numerikus módszer	1	2	3	3	3	3	3	19
3.	Áramlástan szimuláció előkészítése	1	2	1	3	2	4	2	16
4.	Háló generálása	1	4	2	1	3	4	3	19
5.	Szimuláció verifikálása	1	1	1	1	1	1	4	11
6.	Szimuláció validálása	1	1	1	1	4	1	1	11
7.	Eredmények és kiértékelés	1	1	1	1	2	1	1	10
Összeg		9	14	11	11	17	17	15	

Forrás: a szerző szerkesztése

Az elemzés alapján látható, hogy a pontatlan eredmény, illetve konvergenciaprobléma nagy valószínűséggel következik be. Az egyes tevékenységekre vetítve az összegzett bekövetkezési valószínűséget látható, hogy a numerikus módszer definiálása és a háló generálása tekinthető kritikus tevékenységnek. A szimuláció elkészítése során ezekre mindenképpen nagy figyelmet kell fordítani.

A hatáselemzés és a lehetséges kimenetek bekövetkezési valószínűségének meghatározását követően meg kell állapítani az elfogadhatósági tartományt, ami a 3. ábrán látható.



3. ábra. Elfogadhatósági tartomány meghatározása

Forrás: a szerző szerkesztése

A diagrammokon a hatás súlyosságát és a bekövetkezés valószínűségét ábrázoltam, amelyeket az 1. és 2. táblázatokban vizsgáltam. Az egyes kockázati szintek a kockázati vonalak alapján határozhatók meg. A piros szín magas kockázati szintet, a sárga közepes, míg a zöld szín alacsony kockázati szintet jelöl. A magas kockázati szint nem elfogadható kockázatot, a közepes átmenetileg elfogadható, míg az alacsony elfogadható kockázatot jelent.

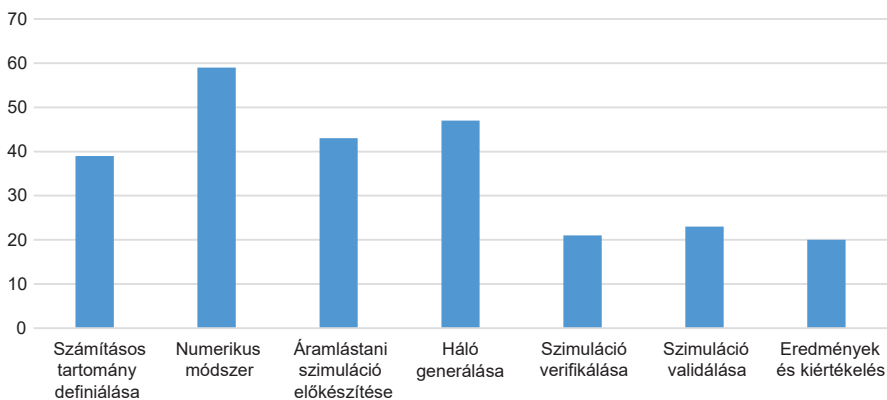
A kockázati szintek meghatározását követően a kockázati értéket kell megvizsgálni, amely alapján az elfogadhatóság eldönthető. A kockázat a hatás súlyossága szorozva a bekövetkezés valószínűségével. Az így számított kockázati értékek megjelenítéséhez a 3. táblázatban látható Leopold-mátrixot készítettem el. A kockázatok értékéhez a 2. ábra alapján az egyes elfogadhatósági szinteket is hozzárendeltem, amit a táblázatban az adott szint színével jelöltem: alacsony – zöld, közepes – sárga, piros – magas.

3. táblázat. CFD-szimuláció folyamatának Leopold-mátrixa: kockázat

Lehetséges kimenetel		Tevékenységek							
		Téves probléma-definiálás	Nem hálózható geometria	Szingularitási-probléma	Numerikus hiba	Pontatlan eredmény	Konvergencia-probléma	Nagy számítási igény	Összeg
1.	Számítási tartomány definiálása	9	6	6	1	6	9	1	39
2.	Numerikus módszer	1	6	12	12	12	9	6	59
3.	Áramlási szimuláció előkészítése	1	4	1	12	8	12	4	43
4.	Háló generálása	1	8	6	1	12	12	6	47
5.	Szimuláció verifikálása	1	1	1	4	4	1	8	21
6.	Szimuláció validálása	1	1	1	1	16	1	1	23
7.	Eredmények és kiértékelés	1	1	1	1	8	1	1	20
Összeg		15	27	28	32	66	45	27	

Forrás: a szerző szerkesztése

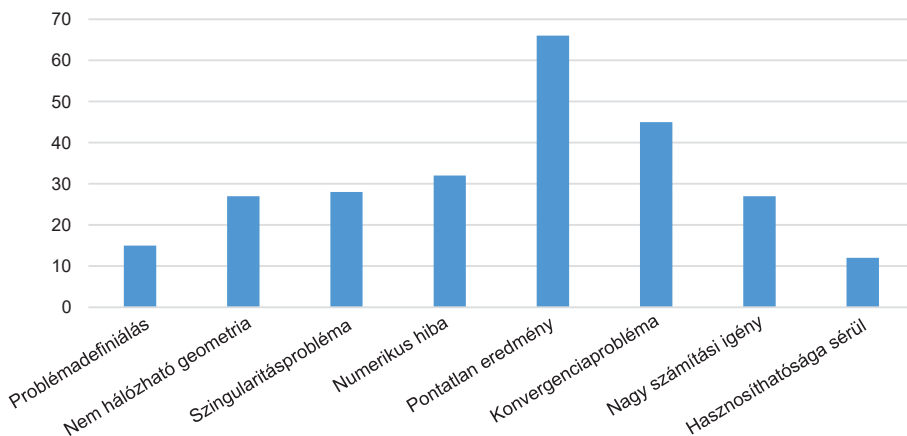
Az eredmények alapján látható, hogy a szingularitáshiba, a numerikus hiba, a pontatlan eredmény és a konvergenciaprobléma nem elfogadható kockázatot jelentenek. Ezenfelül a folyamat lépései közül a numerikus módszer, az áramlástan szimuláció előkészítése, a háló generálása és a szimuláció validálása nagyon kritikus lépésnek számít. Az összesített eredményeket a tevékenységekre (4. ábra) és a lehetséges kimenetekre (5. ábra) is ábrázoltam oszlopdiaagramokban.



4. ábra. Összesített kockázati szintek – tevékenységek

Forrás: a szerző szerkesztése

A szimulációs folyamat tevékenységei közül a numerikus módszer rendelkezik a legnagyobb kockázati szinttel, ezt követi a háló generálása és a szimuláció előkészítése. E tevékenységek a nem elfogadható kategóriába estek. Magas kockázattal rendelkezik még a számításos tartomány definiálása. Érdekes tény, hogy a validáció, amely szintén a nem elfogadható kategóriába tartozik, alacsony kockázatot jelent az összesített eredményekben.



5. ábra. Összesített kockázati szintek – lehetséges kimenetek

Forrás: a szerző szerkesztése

A lehetséges kimenetek közül magas kockázati szinttel rendelkezik a pontatlan eredmény és a konvergenciaprobléma, amelyek a nem elfogadható kockázatok közé lettek sorolva. A szingularitáshiba és a numerikus hiba, amelyek szintén nem elfogadható kockázatok láthatóan alacsonyabb kockázati szinttel rendelkeznek.

A 3. táblázat alapján a kockázatok kezelésére különböző válaszingedések meghatározása szükséges, amelyeket a CFD-szimuláció általános folyamatára fogalmaztam meg az 4. táblázatban.

4. táblázat. Kockázatkezelés

Kockázat	Értékelés	Intézkedések
Téves problémadefiniálás	Kockázat elfogadása	Ún. „best practice” dokumentum készítése, amely általános áramlási eseteket tartalmaz. Amennyiben olyan esetet szimuláltunk, amelyet eddig még nem, akkor ennek a dokumentumnak a kiegészítése.
Nem hálózható geometria	Kockázat elfogadása	Nem szükséges intézkedés, mivel a folyamat nem tud tovább menni addig, amíg a geometria nem lett behálózva.
Szingularitáscsökkenés	Kockázat csökkentése	Megfelelő numerikus módszer kiválasztása, a kiválasztáshoz egy „best practice” dokumentum létrehozása.
Numerikus hiba	Kockázat csökkentése	Megfelelő numerikus módszer kiválasztása és a szimuláció előkészítése során megfelelő kritériumok beállítása. Az értékek kiválasztásához „best practice” dokumentum létrehozása.
Pontatlan eredmény	Kockázat csökkentése	Optimális hálósűrűség beállítása. A validáció alapos megtervezése és precíz kivitelezése. Elvonatkoztatás a szimulációtól, azaz annak ismerete, hogy nagyságrendileg mekkora eredmény várható. Ehhez az áramlási ismeretek elmélyítése szükséges.
Konvergenciaprobléma	Kockázat csökkentése	Megfelelő numerikus módszer kiválasztása és a szimuláció előkészítése során megfelelő kritériumok beállítása. A kezdeti érték beállítását is a szimulációtól elvonatkoztatva, azaz a várható érték (nagyságrend) figyelembevételével kell megtenni.
Nagy számítási igény	Kockázat elfogadása	Adott áramlási problémákra nagyságrendileg a cellaszám meghatározása, ami útmutatóként használható, ezzel megakadályozva azt, hogy a számítási igény drasztikusan nagy legyen.

Forrás: a szerző szerkesztése



A kockázatkezeléshez ajánlott megoldás, hogy a kritikus lépésekhez egy „best practice” dokumentumot szükséges létrehozni. Ezzel a kockázatok jelentősen csökkenthetők lennének.

4. Összefoglalás

A CFD-szimuláció hatékony módszer az áramlási jelenségek vizsgálatára, amelyet ma már számos mérnöki területen használnak az iparban és a hadiiparban egyaránt. A CFD-szimuláció folyamata jól elhatárolható részfolyamatokra bontható, amelyeket a cikk részletesen bemutat. E lépéseknek eltérő kockázata van a szimulációra nézve. A CFD-szimulációkra végzett kockázatelemzés segít feltárni a folyamat kritikus lépéseit és kimeneteit. A kockázatelemzéshez a Leopoldmátrixot használtam, amelynek segítségével a lehetséges hatások súlyosságát és a bekövetkezés valószínűségét is megvizsgáltam. A vizsgálat után meghatároztam az elfogadhatósági szinteket, és hozzárendeltem az egyes tevékenységekhez. A nem elfogadható kockázatokra válaszingedéseket is meghatároztam. Ennek segítségével megállapítottam, hogy a szimulációs folyamat mely lépéseinek fejlesztése szükséges még a jövőben. A kockázatelemzés jól szemlélteti, hogy a szimuláció mely lépéseire érdemes különösen nagy figyelmet fordítani a szimulációs mérnököknek.

Felhasznált irodalom

- Al-Nasrawi, Fatin A. – Sumaya L. Kareem – Lilian A. Saleh: Using the Leopold Matrix Procedure to assess the environmental impact of pollution from drinking water projects in Karbala city, Iraq. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 671. (2020). 1–13. Online: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012078>
- Anderson, John D.: Governing equations of fluid dynamics. In John F. Wendt (szerk.): *Computational fluid dynamics. An introduction*. Berlin, Springer, 2009. 15–51. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-540-85056-4_2
- Beke Dóra – Földi Alexandra – Kuti Rajmund: Közúti balesetek során bekövetkező talajszennyezések és kárelhárítási eljárások vizsgálata. *Hadmérnök*, 14 (2019), 3. 13–20. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.3.2>
- Delanaye, Michel et alii: *From CAD to adapted solution for error controlled CFD simulations*. RTO AVT Symposium on "Reduction of Military Vehicle Acquisition Time and Cost through Advanced Modelling and Virtual Simulation", Paris, 2002.
- Domokos László – Nyéki Melinda – Jakovác Katalin et alii: Kockázatelemzés és kockázatkezelés a közszférában és a közpénzügyi ellenőrzésben. *Pénzügyi Szemle*, (2015), 1. 7–28. Online: http://real.mtak.hu/39200/1/domokos_2015_1_m.pdf
- Josimovic, Bosko – Jasna Petric – Sasa Milijic: The use of the Leopold Matrix in carrying out the EIA for wind farms in serbia. *Energy and Environment Research*, 4. (2014), 1. 43–54. Online: <https://doi.org/10.5539/eer.v4n1p43>
- Kegyés-Brassai Orsolya – Richard P. Ray – Kuti Rajmund: Seismic risk and disaster management perspectives in Hungary, presented on a case study performed in Győr. *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 16. (2017), 2. 5–16. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/aarms/article/view/1584>
- Kowarsch, Ulrich – Manuel Keßler – Ewald Krämer: *CFD-simulation of the rotor head influence to the rotor-fuselage interaction*. European Rotorcraft Forum, Southampton, 2014.
- Kuti Rajmund – Nagy Ágnes: Weather extremities, challenges and risks in Hungary. *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 14. (2015), 4. 299–305. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/aarms/article/view/1927>
- Olejnik, Aleksander – Adam Dziubiński – Łukasz Kiszowski: Separation safety analysis using CFD simulation and remeshing. *Aerospace Science and Technology*, 106. (2020). 1–10. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106190>
- Shen, Jian – Shao-bo Fan – Ya-xin Ji et alii: Aerodynamics analysis of a hypersonic electromagnetic gun launched projectile. *Defence Technology*, 16. (2020), 4. 753–761. Online: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.01.008>
- Szűcs Herman: *Konstruktive Auslegung des EA855 Kühlkreislaufes im Hinblick auf EU7 Abgasnorm*. MSc-diplomadolgozat. Széchenyi István Egyetem, 2020.
- Torma András: *Környezetmenedzsment rendszerek*. 2011. Online: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Kornyezetmenedzsment_rendszerek/index.html
- Watson, Neale – A. M. F. Kelly – I. Owen et alii: Computational and experimental modelling study of the unsteady airflow over the aircraft carrier HMS Queen Elizabeth. *Ocean Engineering*, 172. (2019). 562–574. Online: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.12.024>
- Yildirim, Berkay Yasin – Görkem Demir – Onurhan Ayhan: *Computational fluid dynamics modeling of a mortar bomb separation from a fixed-wing aircraft*. AIAA Scitech 2020 Forum, 2020. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2020-1995>

József Zsolt Kersák¹  – Ádám István Kiss² 

Covid-19 Challenges of the German Federal Agency for Technical Relief (THW) in Germany

A Német Szövetségi Műszaki Segítségnyújtás Szervezet (THW) Covid-19-kihívásai Németországban

The SARS-CoV-2 coronavirus presented a new challenge to the world and to defence organisations. In the paper, the authors analyse the composition, task and skills of the so-called Technisches Hilfswerk in Germany. In addition, they describe the applicability of its technical capabilities in the first and second waves of the coronavirus epidemic.

Keywords: THW, Technisches Hilfswerk, logistics, coronavirus, Covid-19

A SARS-CoV-2 koronavírus újfajta kihívások elé állította a világ országait és a védekezésben részt vevő szervezeteket. A szerzők a cikkben elemzik a német Technisches Hilfswerk összetételét, feladatrendszerét és képességeit, bemutatják műszaki képességeinek alkalmazhatósági körét a koronavírus-járvány elleni védekezés első és második hullámában.

Kulcsszavak: THW, Technisches Hilfswerk, logisztika, koronavírus, Covid-19

¹ Somogy County Disaster Management Directorate, Siófok Professional Fire Department, e-mail: Jozsef.Kersak@gmail.com

² Disaster Management Directorate of the Capital, e-mail: kiss.adam92@gmail.com

1. Introduction

The World Health Organization was informed on 31 December 2019 that cases of pneumonia of unknown etiology was found in Hubei Province in the metropolis of Wuhan. On 7 January 2020, the Chinese authorities identified a new coronavirus (SARS-CoV-2) as a pathogenic virus from which Covid-19 is derived. The wholesale market for fish and seafood in Wuhan was the original site of the infection, whereafter the virus could be diagnosed first in the neighbouring countries and then within a few weeks almost worldwide. The first case of the new coronavirus (SARS-CoV-2) was registered in Germany on 28 January 2020 in Bavaria. In spring, life actually stopped in Germany, because the fight against the coronavirus required radical measures. The Federal Agency for Technical Relief (THW) has played an important role in the fight against the virus as an organisation with technical capabilities. All eight territorial organisations were involved in the complex tasks that arose during the pandemic. The tasks were complex: they built the necessary hospitals, distributed protective equipment, created sampling points, undertook logistics tasks and created crisis teams.

Raphael Scheibler and Michael Kretz have written the following about the tasks of the THW in a scientific paper: 'Logistics was one of the focuses for the first four months after the outbreak in Germany. Many states, counties and municipalities have faced the challenge of obtaining a lot of protective equipment, which must be forwarded as soon as possible to the hospitals, offices and nursing homes.'³ THW has built and operated logistics bases for the delivery and storage of the protective equipment. Volunteers of the organisation received thousands of equipment, they stored it, and then prepared it for the delivery. In order to mitigate the effects of the pandemic, reduce its spread and maintain the function of the country, the German Federal Agency for Technical Relief still performs important tasks. Their involvement and volunteer work are exemplary in the mechanism of defence.

2. Introduction of the German Federal Agency for Technical Relief (THW)

The structure of the Technisches Hilfswerk (Technical Relief) is unique in the world. As a Federal Institution, it works under the competence and supervision of the federal minister of the interior, only a little more than 1 per cent of its members work full time, and nearly 99 per cent of the employees are volunteers. Nationwide, more than 80,000 volunteers work in their spare time in 668 local organisations in order to help those in need.

³ Raphael Scheibler and Michael Kretz, 'THW-Einsätze in der Corona-Krise. Neue Infrastruktur und logistische Hilfe' [THW's operation in the Corona crisis. New infrastructure and logistical assistance]. *Crisis Prevention, Fachportal für Gefahrenabwehr, Innere Sicherheit und Katastrophenhilfe*, 09 November 2020.

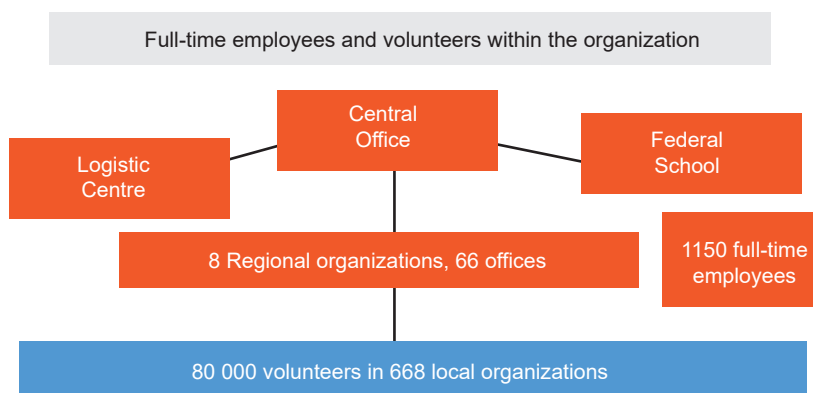


Figure 1. The structure of the Technical Relief

Source: Created and translated by József Zsolt Kersák based on a lecture held at the Bonn Centre on 03. 07. 2017.

Figure 1 shows that from an organisational point of view, the structure of the Technical Relief is unique in the world. They provide assistance under the Civil Protection Act on Disaster Management abroad on behalf of the federal government in the fight against disasters, emergencies and major accidents at the request of the authorities, and in public tasks taken over by agreement.⁴ The protection of human life falls within the legislative competence of the association under the German Basic Law (Article 73), so it is a federal matter. On the other hand, in peacetime and with respect to public security (Article 70), it delegates the system of civil protection tasks to the provincial jurisdiction.⁵ According to the Act on Technical Relief, it is responsible for technical assistance in the field of civil protection as a primary, main task. The concept of civil protection derives from Section 1 of the former Act on Civil Protection. So civil protection is the protection of human life, their residence, work, vital services and facilities. It also included the protection of the cultural heritage threatened by the effects of war and the elimination and mitigation of its consequences. In conclusion, if technical assistance is needed in the field of civil protection, the responsible organisation is the THW.

Section 3 of the Act on Technical Relief provides for the possibility of mutual assistance.⁶ It means that the authorities responsible for fighting against the dangers are not obliged to use its help, but the organisation is obliged to provide assistance if it is requested. It is important to state that it is able to provide technical assistance in accordance with the general provisions on mutual assistance.

⁴ Gesetz über den Zivilschutz und die Katastrophenhilfe des Bundes (Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz – ZSKG) [Law on civil protection and federal disaster aid], 2009.

⁵ Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland [Basic Law for the Federal Republic of Germany].

⁶ Gesetz über das Technische Hilfswerk [Act on the Federal Agency for Technical Relief].



Figure 2. Type of THW interventions

Source: Created and translated by József Zsolt Kersák based on a lecture held at the Bonn Centre on 03. 07. 2017.

The organisation can be applied in six different areas.

- *Technical assistance in the field of infrastructure:* electricity supply, drinking water supply, hygiene, bridge construction.
- *In the field of technical safety:* research, rescue, rescue of objects, blasting, rescue from water, flood and flood protection, prevention, lighting of workspace.
- *Management/communication in the field of logistics:* creating and operating the control points, management support, setting up temporary telecommunication systems, setting up and operating logistical bases, organising and maintaining emergency care, maintenance and supply of equipment.
- *Technical assistance in the field of environmental protection:* cleaning after oil pollution, water tests.
- *Population service:* provision of electricity and drinking water supply, hygiene.
- *Further technical assistance:* technical assistance on transport routes, rescue from high buildings, diving, road construction, maintenance of civil protection facilities (emergency wells, shelters), construction and equipping of temporary shelters and collection points, construction of infrastructure.⁷

⁷ Gesetz über das Technische Hilfswerk [Act on the Federal Agency for Technical Relief, operational possibilities].

3. Tasks of the THW during the Covid-19 crisis

'We can only judge in review what was correct –
if a self-critical evaluation of the experience is made.'

Albrecht Broemme
Leader of the THW (2006–2019)

The first 'wave'

In the fight against coronavirus, THW has provided important health assistance throughout Germany with its extensive interventions to slow the spread of the virus. During the corona crisis to ensure the medical supplies and protective equipment, the federal government purchased the necessary protective equipment and disinfectants centrally. The Federal Ministry of the Interior (BMI) has commissioned the THW to organise and distribute the centrally procured infection control components. This was done in accordance with the resolution of the various departments of the federal administration, the Federal Government Crisis Group. To make this happen, THW has set up a central logistics coordination unit in addition to an active crisis team. This is assigned to the head of the intervention department in the THW management and it is supported by the staff of the logistics department.

The second 'wave'

The second 'wave' has also reached Germany, the protection measures were taking place in the following way: Germany gets vaccines in a centralised way at federal level. The purchasing task is part of the first phase, which is described as follows. For example in Berlin, nearly one million vaccines have to be procured, stored and delivered to vaccination points. After the injection of the vaccines, any remaining unused stock should be exempted and destroyed. Vaccination centres are plan planned to accomplish this phase. Hundreds of such centres are being built across Germany, 6 of them are planned to be set up in Berlin. Building these vaccination centres is a technical challenge for architects and designers. The task must not only be carried out quickly, but the safety distance and hygiene standards must also be observed in accordance with epidemiological standards. The operation will be another major challenge. Sufficient staff must also be provided to operate these centres. In the third phase, the solution is to get the right groups of people in time to and from the vaccination centres.

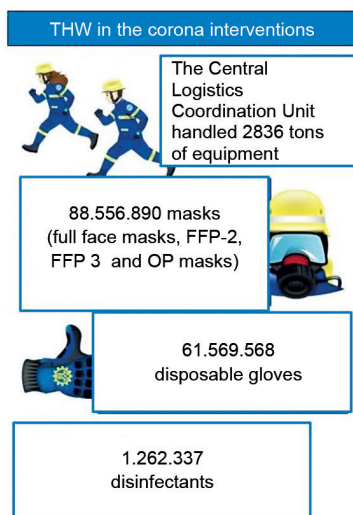


Figure 3. THW in the corona interventions

Source: THW's official Facebook page, translated by the authors.

THW counts around 200 security staff for the operation of each vaccination centre in Berlin. From morning to evening, they take part in vaccination tasks – in addition to health professionals – twelve hours a day, every day of the week. At this point, the disaster management will have the special task of involving as many voluntary people as possible in full time and providing the necessary staff for several weeks. THW is not only applicable for helping to set up vaccination centres to fight against the coronavirus epidemic. THW provides logistical support nationwide for the purchasing, storage and transportation of protective equipment or disinfectants. Central logistics coordination serves as a centre for materials procured by the federal government.

4. Summary

It is important to mention that in a pandemic situation health organisations have the most important tasks. These organisations have the competencies to reduce or prevent the spread of the virus. The Federal Agency for Technical Relief (THW) has technical competencies in the field of civil protection. The technical capability of the organisation was applied in a professional manner against the Covid-19 pandemic.

References

Gesetz über den Zivilschutz und die Katastrophenhilfe des Bundes (Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz – ZSKG) [Law on civil protection and federal disaster aid], 2009. Online: www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/FIS/Zivilschutz-Katastrophenhilfegesetz.pdf?__blob=publicationFile

- Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland [Basic Law for the Federal Republic of Germany].
Online: www.gesetze-im-internet.de/gg/BJNR000010949.html
- Gesetz über das Technische Hilfswerk [Act on the Federal Agency for Technical Relief]. Online: www.thw.de/DE/THW/Bundesanstalt/Auftrag/auftrag_node.html?noMobile=1
- Gesetz über das Technische Hilfswerk [Act on the Federal Agency for Technical Relief operational possibilities]. Online: www.thw.de/DE/THW/Bundesanstalt/Aufgaben/Einsatzoptionen/einsatzoptionen_node.html
- Scheibler, Raphael and Michael Kretz, 'THW-Einsätze in der Corona-Krise. Neue Infrastruktur und logistische Hilfe' [THW's operation in the corona crisis. New infrastructure and logistical assistance]. *Crisis Prevention, Fachportal für Gefahrenabwehr, Innere Sicherheit und Katastrophenhilfe*, 09 November 2020. Online: <https://crisis-prevention.de/katastrophenschutz/thw-einsaetze-in-der-corona-krise.html>

Tartalom

GÁBOR KATONA: <i>Environmental Security and Waste Management Aspects of the Tisza Floods</i>	5
BERGER ÁDÁM: <i>Veszélyesanyag-tároló tartály üzemeltetésének iparbiztonsági feltételrendszere</i>	17
BALLA TIBOR – PADÁNYI JÓZSEF: <i>Műszaki kiválóságok: Hollán Ernő</i>	33
SALAMON ENDRE: <i>Cianobaktérium-toxinokra vonatkozó hazai és nemzetközi előírások, különös tekintettel a Balatonra mint ivóvízbázisra</i>	49
FEHÉR ANDRÁS TIBOR – NÉGYESI IMRE: <i>Mesterséges-intelligencia-alapú kibertértámadási modellek</i>	73
SZŰCS HERMAN: <i>CFD-szimuláció folyamatának kockázatelemzése</i>	89
JÓZSEF ZSOLT KERSÁK – ÁDÁM ISTVÁN KISS: <i>Covid-19 Challenges of the German Federal Agency for Technical Relief (THW) in Germany</i>	101