REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

Szilvási Marcell, Orosz Máté:
Bányafal mérése és modellezése robbantás előtt és után

Major Gábor, Békési Bertold:
Földön, vízen, levegőben – pilóta nélkül, avagy a robotok segítenek vagy ártanak?

Nagy Imre:
Meddig növelhető alacsony Föld körüli pályán a mesterséges holdak száma?

35. évf. (2023)
2. szám

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

LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

IMPRESSZUM

Repüléstudományi Közlemények
A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Elektronikus kiadás
HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604

A szerkesztőbizottság elnöke
Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

A szerkesztőbizottság tagjai
Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Dudás Zoltán (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Kavas László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Károly Krisztián (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)
Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD, MBA, LL.M (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Vas Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Szerkesztőség
Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) főszerkesztő
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztő
Törőcsik Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztőségi titkár

Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.
Levelezési címe: 5008 Szolnok, Pf. 1.
e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu

Kiadó
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó
1083 Budapest, Ludovika tér 2.
kiadvanyok@uni-nke.hu, +36 1 432 9000
A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Borítókép: dr. Toperczer István alezredes

Tartalom

Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2023 – Konferencia 5

Hajnal Kornél, Hegyi Fanni Rozália, Békési Bertold: Multikopteres drón tervezése, fejlesztése és felhasználása 11

Antal Tamás, Nagy János: A csomagolás és a tárolási körülmények hatása a szárított homoktövisgyümölcs érzékszervi jellemzőire 23

Kiss Zsolt Péter, Kassai Zsolt, Szente Márk: A gumiabroncsok fáradásos bordatörés-vizsgálati lehetőségeinek meghatározása laboratóriumi körülmények között 31

Palánkai Emese, Sarvajcz Kornél: Virtuális gyártás alkalmazása ipari gyártóegységek optimalizálására 43

Lakatos Ernő Levente, Szigeti Ferenc, Százvai Attila: A kissorozat- és az egyedi gyártás összehangolása adott üzemben 51

Fazekas Csaba, Szigeti Ferenc: A hegesztési sebesség varrattulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata S355 típusú acél hegesztésénél 59

Csurgai József, Szilvássy László, Jámbor Krisztián: Légisugár-fejlesztésünk rögös útja 67

Szilvási Marcell, Orosz Máté: Bányafal mérése és modellezése robbantás előtt és után 79

Buday Tamás, Budayné Bódi Erika: A bivalens hőszivattyús rendszerek használatának hatása a szén-dioxid-kibocsátásra 87

Buday Tamás, Kyrillos Samir Ghattas: A mélyfúrás geofizikai adatainak digitalizálása hidrodinamikai modellezéshez 95

Szilvási Marcell: Terepfelmérés és modellezés egyvonalas létesítmény megtervezéséhez 101

Nagyné Kondor Rita: Mérnöktanárképzés, lemorzsolódás 109

Nagyné Kondor Rita: A téri intelligencia szerepe a felsőoktatásban 117

Palik Mátyás, Szabó Balázs: A hagyományos légi járművek és a nagy méretű drónok integrált működése ellenőrzött repülőterekről 125

Simon Sándor, Vas Tímea, Dudás Zoltán: A repülőtéri forgalomban alkalmazható drónok típusspecifikációs kérdései 133

Békési Bertold, Gajdács László, Knapiczius Attila: A pilóta nélküli légi járművek meghajtási rendszerei. 145

Gajdács László: A drónok vizuális láthatóságának jelentősége. 157

Major Gábor, Békési Bertold: Földön, vízen, levegőben – pilóta nélkül, avagy a robotok segítenek vagy ártanak? 169

Nagy Imre: Meddig növelhető alacsony Föld körüli pályán a mesterséges holdak száma? 177

Kavas László, Varga Béla, Tóth József: Kapcsolat a különböző gázturbinás hajtóművek és a SAF-tüzelőanyagok használatához kapcsolódó károsanyag-kibocsátás között 185

Óvári Gyula, Varga Béla, Csató Péter: A közelmúlt néhány fontos tanulsága a szállító légi járművek integrált repülőtéren történő kiszolgálásában és repülésre történő felkészítésében. 195

Varga Béla: Az adaptív hajtómű-technológia megjelenése a katonai repülés területén. 203

Tóth József: A repülőtéri folyamatok környezetkárosító hatásainak csökkentésére irányuló fejlesztések várható irányai. 211

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 5–10.

Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2023

Konferencia

PROGRAMFÜZET

A konferencia helyszíne és ideje:

Debreceni Egyetem Szolnoki Campus
(5000 Szolnok, Tiszaligeti sétány 14.)

2023. június 8., csütörtök

A konferenciát szervezi a
Magyar Tudományos Akadémia (MTA)
Debreceni Területi Bizottság (DAB) Műszaki Szakbizottsága
és Jász-Nagykun-Szolnok Megyei Szakbizottsága,
valamint a Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

A konferencia Programbizottsága:
Dr. Kocsis Imre elnök; Dr. Békési Bertold titkár
Dr. Szodrai Ferenc, Dr. Szigeti Ferenc, Dr. Dezső Gergely,
Dr. Kovács Zoltán, Dr. Mankovits Tamás, Dr. Szűcs Péter,
Dr. Palcsu László, Dr. Buday Tamás, Dr. Kavas László

A konferencia Szervezőbizottsága:
Dr. Békési Bertold, Dr. Palik Mátyás, Dr. Szabó Attila,
Dr. Kavas László, Dr. Szilvássy László, Dr. Vas Tímea, Major Gábor

A konferencia programja

09:00–11:00
REGISZTRÁCIÓ
Helyszín: főépület aula, III. előadó előtti terület

10:00–11:30
PLENÁRIS ÜLÉS
Helyszín: III. előadó

Elnök: Palik Mátyás, Békési Bertold

10:00 *A konferencia megnyitása*
Dr. Kocsis Imre, elnök, MTA DAB Műszaki Szakbizottság
Dr. Szabó Attila, campusigazgató, Debreceni Egyetem Szolnok Campus

10:15–10:40 **Dr. Husi Géza**
A Debreceni Egyetem műszaki képzéseinek indítása Szolnokon (Tervek és tények)

10:40–11:05 **Dr. Palik Mátyás**
TKP2021-Az NVA-16 KFI projekt Integrált mintarepülőtér kiemelt kutatási terület bemutatása

11:05–11:30 **Hajnal Kornél, Hegyi Fanni Rozália, Dr. Békési Bertold**
Multikopteres drón tervezése, fejlesztése és felhasználása

11:35–11:45
KÖZÖS CSOPORTKÉPKÉSZÍTÉS

11:45–13:00
EBÉDSZÜNET

13:00–16:00
SZEKCIÓÜLÉSEK

'A' SZEKCIÓ

AGRÁR-MŰSZAKI, ENERGETIKA

Helyszín: 110. terem

Elnök: Antal Tamás, Budayné Bódi Erika

13:00 Antal Tamás, Nagy János
A csomagolás és a tárolási körülmények hatása a szárított homoktövisgyümölcs érzékszervi jellemzőire

13:20 Kiss Zsolt Péter, Kassai Zsolt, Szente Márk
A gumiabroncsok fáradásos bordatörés-vizsgálati lehetőségeinek meghatározása laboratóriumi körülmények között

13:40 Budayné Bódi Erika, Kutasy Erika, Csajbók József, Balláné Kovács Andrea, Magyar Tamás, Nagy Attila, Tamás János, Dózsa Anna
A heterogenitásvizsgálatok szerepe a szabadföldi kisparcellás kísérletek tervezésében

14:00 Bodó Béla, Kalmár Ferenc
Geotermikus távfűtés egy alföldi kisvárosban

14:20 Béni Emese, L. Szabó Gábor
Az energiamegtakarítás vizsgálata a hőmérsékletviszonyok változtatásával

'B' SZEKCIÓ

GÉPÉSZET

Helyszín: 112. terem

Elnök: Szigeti Ferenc, Sarvajcz Kornél

13:00 Palánkai Emese, Sarvajcz Kornél
Virtuális gyártás alkalmazása ipari gyártóegységek optimalizálására

13:20 Lakatos Ernő, Szigeti Ferenc, Százvai Attila
A kissorozat- és az egyedi gyártás összehangolása adott üzemben

13:40 Fazekas Csaba, Szigeti Ferenc
A hegesztési sebesség varrattulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata S355 típusú acél hegesztésénél

14:00 Csák Krisztián Zoltán, Budai István
Gyógyszerhordozó tervezése és előállítása additív technológia alkalmazásával

14:20 Lente Ilka Zsófia, Budai István, Tóth Judit
A vevői élményen alapuló gyógyszerfejlesztés lehetőségeinek bemutatása a várandósvitaminok piacán keresztül

14:40 Kertész József, Kovács Tünde
A gépjárművek alacsony sebességű ütközésbiztonságának fokozása a tömeg-optimalizáció figyelembevételével

15:00 Bodzás Sándor
A bordástengely megmunkálási technológiájának tervezése alakos maróval

'C' SZEKCIÓ

KÖRNYEZET- ÉS FÖLDTUDOMÁNYOK,
MŰSZAKI HIDROLÓGIA
Helyszín: 119. terem

Elnök: Szilvássy László, Buday Tamás

13:00 Csurgai József, Szilvássy László, Jámbor Krisztián
Légisugár-fejlesztésünk rögös útja

13:20 Szilvási Marcell, Orosz Máté
A bányafal mérése és modellezése robbantás előtt és után

13:40 Buday Tamás, Budayné Bódi Erika
A bivalens hőszivattyús rendszerek szén-dioxid-kibocsátásának csökkentési potenciálja

14:00 McIntosh, Richard William, Hosseini, Seyed Jamal Aldin
Kőzettestszilárdság a Nagy-fennsík (Bükk hegység) északi peremén

14:20 Buday Tamás, Ghattas, Kyrillos Samir
A mélyfúrás geofizikai adatainak digitalizálása hidrodinamikai modellezéshez

14:40 Nagy Georgina Eszter, Kalmár Tünde
Felhasználási szokások a víztakarékosság jegyében

15:00 Szilvási Marcell
Terepfelmérés és modellezés egyvonalas létesítmény megtervezéséhez

'D' SZEKCIÓ

MÉRNÖKPEDAGÓGIA
Helyszín: 120. terem

Elnök: Kocsis Imre, Homolya Szilvia

13:00 Homolya Szilvia, Rozgonyi Erika
A matematikai kompetenciamérés szerepe a műszaki felsőoktatásba belépő hallgatóknál

13:20 Nagyné dr. Kondor Rita
Mérnöktanárképzés, taneszközök, lemorzsolódás

13:40 Kocsis Imre, Sipos Dóra
A mérnöki matematikai tudáselemek átértékelődése a fejlett matematikai segédeszközök jelenlétében

14:00 Nagyné dr. Kondor Rita
Téri intelligencia a felsőoktatásban

14:20 Balajti István
Az „agykarbantartás" és a „Nobel-sörök" koncepció a radartechnológiák témakör eredményei tükrében

'E' SZEKCIÓ

REPÜLÉSTUDOMÁNY I.

Helyszín: 121. terem

Elnök: Békési Bertold, Major Gábor

13:00 Palik Mátyás, Szabó Balázs
A hagyományos légi járművek és a nagy méretű drónok integrált működése ellenőrzött repülőterekről

13:20 Simon Sándor, Vas Tímea, Dudás Zoltán
A repülőtéri forgalomban alkalmazható drónok típusspecifikációs kérdései

13:40 Békési Bertold, Knapiczius Attila, Gajdács László
A pilóta nélküli légi járművek meghajtási rendszerei

14:00 Gajdács László
A drónok vizuális láthatóságának jelentősége

14:20 Kis Károly Árpád, Balajti István, Sarvajcz Kornél
A drónplatform-alapú in situ mérési eljárás kidolgozása antennákhoz

14:40 Teknős László
Az elmúlt évek műszaki-technológiai fejlesztései a katasztrófavédelemnél

15:00 Major Gábor, Békési Bertold
Földön, vízen, levegőben – pilóta nélkül, avagy a robotok segítenek vagy ártanak?

'F' SZEKCIÓ

REPÜLÉSTUDOMÁNY II.

Helyszín: 123/B terem

Elnök: Kavas László, Tóth József

13:00 Nagy Imre
Meddig növelhető alacsony Föld körüli pályán a mesterséges holdak száma?

13:20 Rozgonyi László
Applications and Limitations of Linear Transformations in Aeroplane Dynamics

13:40 Kavas László, Varga Béla, Tóth József
Kapcsolat a különböző gázturbinás hajtóművek és a SAF-tüzelőanyagok használatához kapcsolódó károsanyag-kibocsátás között

14:00 Óvári Gyula, Varga Béla, Csató Péter
A közelmúlt néhány fontos tanulsága a szállító légi járművek integrált repülőtéren történő kiszolgálásában és repülésre történő felkészítésében

14:20 Szaniszló Zsolt
A repülő-hajózó állomány ejtőernyős kiképzettsége napjaink Magyar Honvédségében. Mire lehet elég az így megszerzett tudás?

14:45 Varga Béla
Az adaptív hajtómű-technológia megjelenése a katonai repülés területén

15:00 Tóth József
A repülőtéri folyamatok környezetkárosító hatásainak csökkentésére irányuló fejlesztések várható irányai

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 11–21. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.1

Hajnal Kornél, Hegyi Fanni Rozália, Békési Bertold

Multikopteres drón tervezése, fejlesztése és felhasználása

Napjainkban egyre nagyobb szükség van a különböző képességekkel rendelkező, sokoldalúan használható drónokra mind polgári, mind katonai célokra. Jelentős érdeklődés mutatkozik olyan újszerű drónok kifejlesztése iránt is, amelyek képesek autonóm módon, különböző környezetekben és helyszíneken önállóan figyelni és különböző küldetéseket teljesíteni. Az elmúlt évtizedben e drónok széles körű alkalmazási lehetőségei kapták a legnagyobb figyelmet, ami a különböző méretű és tömegű drónok különböző típusainak feltalálásához vezetett. A különböző mérnöki képzések során is kiemelt szerepet kap a drónok alkalmazása. A cikkben a szerzők egy megépített multikopteres drón fejlesztését és a végterméket, magát a drónt mutatják be, amely a precíziós mezőgazdaságban alkalmazható.

Kulcsszavak: *UAV, UAS, szenzor, multikopteres drón, mesterséges intelligencia, precíziós mezőgazdaság*

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben robbanásszerűen megnőtt a pilóta nélküli légi járművek[1] alkalmazásainak száma. Már 2008-ban is azt vizionálták, hogy a pilóta nélküli robotok új korszakot hoznak a mezőgazdaságban [18]. Kezdetben az UAV-ket főként a katonai területeken használták, és ez az UAV-k piaci részesedésének 90%-át tette ki [22]. A katonai területen például felderítésre, hírszerzésre, az ellenséges tevékenység megfigyelésére, rádiótechnikai átjátszásra, rádióelektronikai- és radarrendszerek zavarására, támadására, ellenséges egységek megfigyelésére, földi célpontok elleni támadásra (csapásmérésre), rakéták elterelésére és még számos más katonai cél megvalósítására alkalmazzák [16], [22], [24], [25].

Napjainkban a tudomány és a technológia fejlődésével az UAV-k különböző modulokat, például érzékelőket (szenzorokat) [14], kamerákat [27] és LiDart integráltak, így a polgári felhasználás területén egyre szélesebb körben alkalmazhatók. A hagyományos légi járművekkel szemben az UAV-k olyan előnyökkel rendelkeznek, mint a kompakt méret, a multifunkcionalitás, a költséghatékonyság, a kedvezőbb gyártási és karbantartási költségek. Mindezeket figyelembe véve – a szabadidős és ipari érdekek – az UAV-k piaci részesedése a nem katonai

[1] UAV, más néven drónok, pilóta nélküli légi/repülőgépes rendszerek (UAS) vagy távirányítású repülőgépes rendszerek (RPAS).

területen több mint 50%-ra nőtt. A legfrissebb adatok szerint az UAV-k globális piaci mérete 2022-ben 32 milliárd USD-t tett ki, és az előrejelzések szerint 2028-ra elérheti a 72 milliárd USD-t, ami 14,4%-os összetett éves növekedést feltételez [15], [30].

A pilóta nélküli repülőeszközök az élet számos területén felhasználhatók [8]. A szerkezetekbe integrált érzékszerveknek – fedélzetén alkalmazott szenzoroknak [19], [28], [29] – kell biztosítaniuk a pilóta nélküli repülőeszköz háromdimenziós mozgásának koordinálásához szükséges információt, a külső környezetből nyert adatok, mért vagy érzékelt mennyiségek alapján [8], [28].

A [6] irodalom a követelmények és a feladatok jellegének hasonlósága miatt az UAS-k alkalmazásait a következők szerint értékeli: ellenőrzés, felmérés és térképezés; mezőgazdasági és környezetvédelmi kutatás; keresési és mentési feladatok; postai küldemények és egyéb árucikkek kézbesítése; katonai feladatok; tengeri és víz alatti feladatok; űrfeladatok és egyéb alkalmazások.

Cikkünk szempontjából a polgári felhasználás területén az UAV-k széleskörűen alkalmazhatók a mezőgazdaságban. Az UAV-technológiát számos országban a kártevők lokalizálására (például kukoricamoly), a földhasználat, ültetvénytípus ellenőrzésére, állományfelmérésre, levélfelület-indexek kiszámítására, a növényi magasság ellenőrzésére, terménybecsléshez, talajnedvesség-becsléshez, a nitrogénhiány feltérképezésére, gyomtérképkészítésre, termelésmonitoringra, talajosztályozásra, az állattartási tevékenység nyomon követésére alkalmazzák [4].

A „Mezőgazdaság 2050 projekt" szerint a világ népessége 2050-re eléri a 10 milliárd főt [26], és ahhoz, hogy ilyen sok ember élelemhez jusson, rekordmennyiségű élelmiszert kell előállítani [21]. Következésképpen az élelmiszer-termelés kb. 70%-os növelésére lesz szükség [14], [26]. Az élelmiszer-termelés arányának növeléséhez a mezőgazdaságban automatizálásra, robotikára, információs szolgáltatásokra és intelligenciára van szükség, amely egyesíti az információs és kommunikációs technológiákat (IKT), a robotikát, a mesterséges intelligenciát (MI) és a dolgok internetét.[2] Az intelligens mezőgazdaság aktív terület, amely új lehetőségeket termel a jövőre nézve [20].

Terjeszkedése középpontjában a mezőgazdasági robotok állnak, amelyek közül a pilóta nélküli légi járműveket (UAV) széles körben alkalmazták. Az UAV-k jelentősen csökkentették a munkaidőt, ami nagyobb stabilitást, mérési pontosságot és termelékenységet eredményezett. Tehát nemcsak olcsóbbak, mint a legtöbb más mezőgazdasági gép, hanem könnyen kezelhetők is. Ezen túlmenően alkalmazásuk hozzájárult a mezőgazdaság számos területének bővüléséhez, ideértve a rovarirtó- és műtrágyakutatást és -permetezést, a vetőmagvetést, a gyomfelismerést, a termékenységértékelést, a térképezést, a termés-előrejelzést és még számos más alkalmazást [3], [13], [14], [20], [21].

A CB Insights adatbázis-kutatásai alapján azonosította a mezőgazdaságban működő robotikai és mesterséges intelligenciával foglalkozó vállalatokat, és 5 nagy kategóriába sorolta azokat fókuszterületük szerint (1. ábra) [17].

A főbb UAV-vállalatok közé tartozik a DJI, a Parrot, a PrecisionHawk, az AgEagle és a Trimble Navigation. Bár számos UAV-t fejlesztettek ki, és hoztak forgalomba, a fejlett mezőgazdasági megoldásokhoz még mindig vannak megoldásra váró kihívások [20].

[2] Internet of Things – IoT.

1. ábra

A mezőgazdaságban működő robotikai és mesterséges intelligenciával foglalkozó vállalatok 5 nagy kategóriája
(Békési Bertold [17] alapján)

2. Saját fejlesztésű multikopteres drón

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar repülőműszaki specializáció harmadéves hallgatóiként számunkra a drónok nem csupán hobbit, hanem szakmát is jelentenek. A képzés során több alkalommal is érintettük a drónok tématerületét, és a különböző gyakorlati foglalkozások keretén belül találkoztunk is ezekkel az eszközökkel. Tervezett szakdolgozataink témája is ezen eszközök tématerületét öleli fel, mivel az iránt érzett érdeklődés részünkről már több éve tart. Az elmúlt évek folyamán testközelből figyeltük a multikopteres drónok iparágának robbanásszerű fejlődését. Ez a fejlődés elsősorban Kínából és Japánból indult. Az iparág fejlődésének megértéséhez szükséges tisztában lennünk Kína mezőgazdasági helyzetével. Az itt található mezőgazdasági területek közel egyharmadán foglalkoznak árasztásos rizstermesztéssel, így a területen történő állománykezelés nehézkes, lassú folyamat, amely csak jelentős, a kultúrában okozott taposási kárral érhető el. Az itt található átlagos mezőgazdasági művelés alatt álló földterületek mérete jóval kisebb, mint az európai mezőgazdasági birtokoké. Kínában a földterületek mértékegysége a mou (mu), amely pontosan egy hektár (ha) tizenötöd részével egyenlő. Kezdetben a permetező drónokat kis méretű és nehezen megközelíthető mezőgazdasági területekre szánták, csak később, mintegy 4 éve kezdtek el elsősorban európai, valamint amerikai piacra is drónokat gyártani.

Célunk egy olyan multikopteres (négy forgószárnyas) drón létrehozása volt, amely megfelel az ipar által megkövetelt elvárásoknak:

- magas minőség;
- felhasználóbarát, folyamatosan fejlődő szoftveres környezet;
- megfizethető ár.

Mielőtt elmerülnénk a részletekben, fontos megemlítenünk, hogy a projekt megvalósulásához szükségünk volt partnercégre, amely támogat minket, és technikai segítséget nyújt. A 4 év alatt számos kínai gyártóval és beszállítóval dolgoztunk együtt, így alakult ki a kapcsolatrendszerünk Kína egyik legnagyobb UAS- és UGS-gyártó és -fejlesztő cégcsoportjával, amely 7 cégből áll, és csaknem 70 ha területen helyezkedik el. A cégről röviden azt érdemes tudni, hogy már 8 éve foglalkozik a rendszerek fejlesztésével. Jelenlegi kapacitásuk egy nagy tételű megrendelés esetében kb. 200 db gép hetente.

Nemrég kötöttünk a cégcsoporttal kizárólagos forgalmazói szerződést. Jelenleg az előkészületek a forgalmazáshoz folyamatban vannak. Előkészületek alatt értjük a raktárhelyiség és a műhely kialakítását, a weboldal elkészítését [2], illetve egyéb szükséges marketingeszközök gyártását. A forgalmazáshoz szükséges engedélyek már rendelkezésre állnak, jelenleg is vannak megrendeléseink, amelyeket gyors szállítással 14–21, standard szállítási idővel 60 naptári nap alatt tudunk teljesíteni.

2.1. A multikopteres drón

Az UAV-ket felépítésük alapján merev, forgószárnyas, hibrid és biológiai alapú kategóriákba sorolhatjuk [6], [9], [10], [11], [12]. A [6] irodalom a négy forgószárnyas drónt a drónok nem hagyományos kategória szerinti osztályozása alapján a mini pilóta nélküli légi járművek (MAV) kategóriájába sorolja, az UAS-ek különböző konfigurációi alapján pedig a forgószárnyasokéba.

Az utóbbi idők talán legnépszerűbb játéka a „Quad rotor" (négy forgószárnyas), amelynek lényege a két-két szemben forgó elektromotorok „egybefűzése", így a dőlés és a függőleges tengely körüli elfordulás a rotorok fordulatszámával szabályozható. Az „igazi" helikopterhez képest nagy előny, hogy a lapátállásszögeket nem kell változtatni. A fordulatszám gyors változtatására különösen alkalmas „*outrunner*" – külső mágneses, kefe nélküli – motorok vezérlésére a GYRO-stabilizált fedélzeti elektronika szolgál [11].

Az általunk készített drón (2. ábra) moduláris egységekből épül fel, aminek célja az egyszerű gyártástechnológia, valamint az univerzális felhasználás. Gépünk három fő egységből épül fel, amelyek a következők:

- platform;
- hasznos teher *(payload);*
- energiaellátás.

2. ábra
A multikopteres drón [2]

2.1.1. Platform

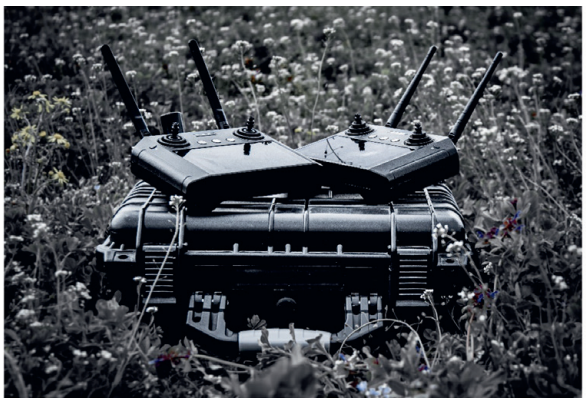
Tervezéskor elengedhetetlen volt a robusztus törzs létrehozása, amely képes szélsőséges körülmények között is üzembiztosan és hatékonyan működni, ideértve a különböző vegyszerek és a por elegyét, amely általában vastag rétegben rakódik le a használat során a drón felületére, illetve egyéb környezeti és fizikai behatásokat is. A moduláris felépítésnek köszönhetően a gyártás és a karbantartási folyamatok időben és költségben jelentősen redukálhatóak.

A platform mérete nyitott állapotban 2500 × 2500 × 700 mm, zárt állapotban pedig 800 × 900 × 800 mm, amelynek részét képezi a törzshöz kapcsolódó 4 db kompozit kar, amelyhez 4 db forgószárnyszerkezet kapcsolódik, ezzel X-elrendezésű platformot hozva létre. A drón vezérléséért felelős hardvermodulok a törzs középső részében kaptak helyet egy rezgéskorrekciós gumiplatformon, ezzel biztosítva épségüket, illetve elkerülve a vibrációból adódó esetleges koordinációs zavarokat. A platform tömege 20 kg, maximális felszállótömege pedig meghaladja a 100 kg-ot, mindeközben felhajtóerő-tömeg aránya nem csökken 1,8 alá, ezzel biztosítva a gyors és erőteljes manőverezést.

A platformon található továbbá a törzsbe integrálva az elülső, illetve a hátoldali szenzor, amelynek érzékelési távolsága maximum 30 m, illetve a LiDAR-alapú magasságérzékelő szenzor, amelynek érzékelési távolsága ugyancsak maximum 30 m. A platform részét képezi továbbá 2 db 1080P felbontású kamera, illetve 4 db 2000 lm teljesítményű reflektor.

A drón nyílt forráskódú repülésvezérlőt használ, amelynek előnye, hogy nemcsak a mezőgazdaságban, de az ipar számos egyéb szegmensében is feladatorientálttá tudjuk tenni, akár jövőbeli ügyfeleink igényei szerint.

A multikopter vezérléséhez jelenleg H12 típusú kontrollert (4. ábra) használunk, amely 6 km hatótávolsággal, illetve 12 h-nyi folyamatos üzemidővel rendelkezik.



3. ábra
A H12 távirányító [1]

2.1.2. Hasznos teher *(payload)*

A hasznos teher a drónunkon, amelyet jelenleg használunk, egy permetező tartály, amelyet külön rögzítünk a platformhoz. Ezt hangoljuk össze a drón repülésvezérlő moduljával. Jelenlegi platformunk a vegyszeres állománykezelésre van optimalizálva, amelynek részét képezi az 55 l-es tartállyal felszerelt talpszerkezet, amelyből 50 l a valós tartályméret, 5 l pedig a tágulási rész. A szórórendszer 2 db 8 l/min teljesítményű nagynyomású pumpával (üzemi nyomása 4,8 bar), 4 db szűrővel, 2 db 8 l/min teljesítményű centrifugális szórófejjel és átfolyásmérővel van felszerelve.

2.1.3. Energiaellátás

A hagyományos repülőgépek repülési ideje sokáig növelhető légi utántöltéssel. A multidrónok esetében ez nem lehetséges, így más megoldások kerültek előtérbe. Ahhoz, hogy a későbbiekben is fel tudják használni a meglévő energiát, fontos az energiatároló rendszer alkalmazása. Alapvetően két eszköz áll rendelkezésre: az üzemanyagcellák és az akkumulátorok. Az üzemanyagcella egy galvánelem, amely átalakítja az üzemanyag kémiai energiáját elektromos energiává. Lényegesen nagyobb a teljesítménysűrűsége, mint az akkumulátoroké [5]. Drónunk építése során az alacsonyabb költségek érdekében az akkumulátort választottuk. Ez szolgáltatja az energiát a drón motorjainak és a vezérlésnek. A biztonságos és egyszerű használat érdekében kizárólag okosakkumulátorokat használtunk. Ezekről az akkumulátorokról elmondható, hogy töltési idejük jellemzően 15–20 min (gyorstöltővel), élettartamuk garantáltan több mint 1000 töltési ciklus. Optimális üzemi hőmérsékletük kb. 0–40 °C fok közé esik. Az említett hőmérséklet-tartomány fölött vagy alatt romlik az akkumulátor kapacitása. Gondozásmentesek, így a tárolás miatt sem kell aggódnunk. A drón két biztonsági modullal van ellátva, amelyek jelentős védelmet biztosítanak akkumulátorainknak és a felhasználók számára is. Ez a két modul az akkumulátor biztonsági modulja (Battery Management Unit – BMU), illetve a szikrázásgátló modul (Anti Flash Module – AFM) [1].

A BMU védőáramköri rendszerként funkcionál. Ellenőrzi az akkumulátor állapotát, környezetét, adatokat számol, jelenti, majd kiegyensúlyozza azokat, tehát megvédi az akkumulátort. Megakadályozza bármely cella biztonságos működési értékének túllépését. Ezenkívül kiegyenlíti az akkumulátorok töltöttségi állapotát, ezáltal maximalizálja a kapacitást. A BMU működésbe léphet például túláram, túlfeszültség vagy alacsony feszültség esetén [5].

Az AFM feladata pedig, hogy hosszú távon épen tartsa csatlakozóinkat, valamint érintésvédelmi feladatot is ellát. 14 cellaszám feletti akkumulátoroknál már akár 58–60 V feszültségről is beszélhetünk, amikor is az esetleges sérülések elkerülése érdekében az érintésvédelem nagyon fontossá válik [1].

A pilóta nélküli légi rendszer tervezésének, földi és légi üzemeltetésének kulcskérdése a repülésbiztonság és a biztonság általában [6]. A repülőtechnika működése (ebbe a drónt is beleértjük) és a repülések biztonsága függ a megbízhatóságtól [7]. A drón biztonságos és kényelmes üzemeltetéséhez legalább 3 db akkumulátor szükséges. Miért is vetődik fel a kérdés? 1 h időtartamban szeretnénk feladatot végrehajtani, jelen esetben permetezést. Az eszközünk repülési ciklusa kb. 20 min. Egy akkumulátorunk töltési ideje, ahogy korábban is írtuk 15–20 min. Ezáltal az akkumulátorokat folyamatos forgásban használjuk. Az egyik épp használatban van, míg a másikat töltjük, és szükség van egy, már pihentetett harmadik akkumulátorra is. Így tudjuk biztosítani, hogy ne a töltőről frissen levett és felmelegedett akkumulátor kerüljön vissza a drónba. Ezzel a módszerrel, hogy nem két, hanem három akkumulátort használunk, jelentősen megnöveljük azok élettartamát.

Az energiaellátásért jelenleg egy 18S 28 000 mAh teljesítményű akkumulátor felelős (4. ábra). A repülési idő üresen akár a 30 min-t is elérheti, a jelenlegi *payloaddal* pedig 20 min repülést tesz lehetővé. Ez pontosan egytartálynyi vegyszer kijuttatására alkalmas, illetve a maximum távolság megtételére kétszer +20% tartalék.

4. ábra
Az Okcell 18S akkumulátor [1]

3. Összefoglalás

A cikkben a szerzők egy megépített multikopteres drón fejlesztését és a végterméket, magát a drónt mutatták be röviden, amely a precíziós mezőgazdaságban is alkalmazható. A különböző mérnöki képzések során kiemelt szerepet kap a drónok alkalmazása. A mezőgazdasági termelés hatékonyságát, produktivitását folyamatosan növelni kell ahhoz, hogy a bővülő igényeket ki tudja elégíteni. Digitalizáció, automatizáció, gépi tanulás, mesterséges intelligencia és precízió – ezek manapság jószerével minden gazdasági ágnak a kulcsszavai. Nincs ez másképp a mezőgazdaság területén sem, ugyanis a digitalizáció és a precíziós mezőgazdaság nem független egymástól. Digitalizáció elképzelhetetlen precizitás nélkül. Ma már két-három naponta frissülő műholdképeket tölthet le bárki az internetről akár ingyenesen is, amelyen áttekintheti saját tábláinak állapotát, és a növényállomány visszajelzéseiből egyértelműen lehatárolhatja a szántóföldnek azokat a zónáit, amelyek eltérő kezelésre szorulnak. A műholdképek alapján azt is meg lehet határozni, hogy honnan kell talajmintát venni, hol kell tovább vizsgálni, hogy az átlagostól eltérő növénynövekedési mintázatot mi okozhatja.

A precíziós mezőgazdaság legújabb munkáinak többsége az általunk is fejlesztett és épített többrotoros UAV-t használ. Ez elsősorban annak tudható be, hogy a legtöbb alkalmazásnál a vizsgált terület nem túl nagy. Emiatt nem szükséges nagy sebességű és nagy területeket lefedni képes UAV-ket használni. Így a forgószárnyú drónokat részesítik előnyben a következő előnyök miatt: könnyű kezelhetőség, lassabb sebesség, jobb manőverezési képesség, viszonylag alacsony költség. Ezek az előnyök nagyobb lehetőségeket biztosítanak az információgyűjtéshez a növényekről a képalkotás révén, amely az UAV-k fő felhasználási területe a növényzet megfigyelésében. Azokban az esetekben, amikor a megfigyelési terület viszonylag nagy, előnyben részesítik a merev szárnyú repülőgépeket, amelyek lehetővé teszik a teljes terület rövid időn belüli megfigyelését [14]. Ugyanakkor a precíziós mezőgazdaság irányítási rendszeréhez nagy mennyiségű bemenő információra lesz szükség a jövőben, méghozzá olcsón, és ezt jelentős részben drónokkal gyűjtik majd.

Felhasznált irodalom

[1] ADT Solution. A mezőgazdasági drónszett tartozékai. Online: https://agrodronetech.hu/spg/930300,1048612/A-mezogazdasagi-dronszett-tartozekai
[2] ADT Solution. ADT 450 mezőgazdasági drón. Online: https://agrodronetech.hu/
[3] S. Alexandris et al., „Integrating Drone Technology into an Innovative Agrometeorological Methodology for the Precise and Real-Time Estimation of Crop Water Requirements," Hydrology, 8. évf. 3. sz. 131. p. 2021. Online: https://doi.org/10.3390/hydrology8030131
[4] Bakó G., „UAV és RPAS technológia a légi távérzékelésben. UAS és RPAS technológia légi fotogrammetriai alkalmazása. Felhasználási lehetőségek, elérhető típusok és szoftverek, előnyök és kockázatok, jogi környezet," Elemző tanulmány a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet megbízásából. Budapest, Magyarország: Interspect Csoport, 2015. Online: https://acrsa.org/documents/BGUASMFGI.pdf
[5] Békési B., Juhász M., „Pilóta nélküli légijárművek energia forrásai," Economica, 7. évf. 1. sz. pp. 92–100. 2014. Online: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2014/7/1/4311

[6] Békési B., Major G., „A drónok konfigurációi, alkalmazási területei," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2022: Konferenciakiadvány. Nyíregyháza, 2022. 06. 02. (Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, Magyar Tudományos Akadémia [MTA] Debreceni Területi Bizottság [DAB] Műszaki Szakbizottsága), Páy G. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 301–307.
[7] Békési B., Papp I., Szegedi P., „UAV-k légi és földi üzemeltetése," Economica, 6. évf. 2. sz. pp. 99–117. 2013. Online: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2013/6/2/4422
[8] Békési B., Seres J., „Drónok alkalmazásának lehetőségei," Repüléstudományi Közlemények, 3. sz. pp. 5–19. 2020. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.1
[9] Békési B., „Pilóta nélküli légijármű típusok sárkányszerkezeti megoldásai," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013, pp. 122–132.
[10] Békési B., „Pilóta nélküli légijárművek jellemzése, osztályozásuk," in Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek, Palik M. szerk. Budapest, Magyarország: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013, pp. 65–109.
[11] Békési B., „UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai," Szolnoki Tudományos Közlemények, 15. évf. pp. 1–11. 2011.
[12] Békési L., Békési B., „Merevszárnyú pilóta nélküli légijárművek (UAV-k)," Szolnoki Tudományos Közlemények, 17. évf. pp. 7–34. 2013.
[13] Dairy & Ag Tech NOW. How UAV's Are Changing The Future Of Agriculture. Online: https://dairynow.ca/how-uavs-are-changing-the-future-of-agriculture/
[14] D. C. Tsouros, S. Bibi, P. G. Sarigiannidis, „A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture," Information, 10. évf. 11. sz. 349. p. 2019. Online: https://doi.org/10.3390/info10110349
[15] F. Outay, H. Abdullah Mengash, M. Adnan, „Applications of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Road Safety, Traffic and Highway Infrastructure Management: Recent Advances and Challenges," Transportation Research Part A: Policy and Practice, 141. évf. pp. 116–129. 2020. Online: https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.018
[16] Gajdács L., Major G., „Katonai célú drónok fejlesztése a jelenkorban, a jövőt vizionálva," in Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III. Földi L. szerk. Budapest, Magyarország: Ludovika, 2022, pp. 101–120. Online: https://bit.ly/4b7RTcG
[17] GeoVisual Analytics. GeoVisual Featured in CB InSights Market Map of Companies Bringing AI and Robotics to Agriculture. July 2017. Online: www.geovisual-analytics.com/geovisual-featured-in-cb-insights-market-map-of-companies-bringing-ai-and-robotics-to-agriculture/
[18] H. Aasen et al., „Quantitative Remote Sensing at Ultra-High Resolution with UAV Spectroscopy: A Review of Sensor Technology, Measurement Procedures, and Data Correction Workflows," Remote Sensing, 10. évf. 7. sz. 2018. Online: https://doi.org/10.3390/rs10071091
[19] J. Fraden, „Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications," Springer, 2010. Online: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6466-3
[20] J. Kim et al., „Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications," IEEE Access, 7. évf. pp. 105100–105115. Online: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932119

[21] Kárfelmérésre, permetezésre használja a drónokat a mezőgazdaság. Online: www.autoszektor.hu/hu/content/karfelmeresre-permetezesre-hasznalja-dronokat-mezogazdasag
[22] K. Lam Pham et al., „The Study of Electrical Energy Power Supply System for UAVs Based on the Energy Storage Technology," Aerospace, 9. évf. 9. sz. 500. p. 2022. Online: https://doi.org/10.3390/aerospace9090500
[23] Kovalcsik E., „Lesz mit enni 2050-ben?" Magyar Mezőgazdaság. Online: https://magyarmezogazdasag.hu/2019/06/11/lesz-mit-enni-2050-ben?page=1
[24] Major G., „Etikus-e a drónok használata?" Honvédségi Szemle: A Magyar Honvédség központi folyóirata, 144. évf. 2. sz. pp. 100–106. 2016. Online: https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/799/789
[25] Major G., „A pilóta nélküli légijármű rendszerek használata az elektronikai hadviselésben," Repüléstudományi Közlemények, 29. évf. 3. sz. pp. 309–312. 2017. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-22-0490_Major_Gabor.pdf
[26] M. C. Hunter et al., „Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification," BioScience, 67. évf. 4. sz. pp. 386–391. 2017. Online: https://doi.org/10.1093/biosci/bix010
[27] P. Ridden, „Dji's Latest Cinema Drone Flies 8K Full-Frame Gimbal Camera," New Atlas. Online: https://newatlas.com/drones/dji-inspire -3-cinema-drone/
[28] Szegedi P., Békési B., „Az UAV-on alkalmazható szenzorok," in XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Mesterházy B. szerk. Szombathely, Magyarország: Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015, pp. 175–182. Online: http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf
[29] Szegedi P., Békési B., „Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles," in Transport Means 2015: Proceedings of 19th International Scientific Conference. Kaunas, Litvánia: Kaunas University of Technology, 2015, pp. 219–222.
[30] Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Market Size to Reach USD 72,320 Million by 2028 at a CAGR of 14.4%. Online: https://prn.to/3QizuSG

Design, Development and Use of a Multicopter Drone

Nowadays there is an increasing need for versatile drones with different capabilities for both civil and military purposes. There is also significant interest in developing novel drones capable of autonomous surveillance and mission accomplishment in different environments and locations. Over the past decade, the wide range of applications for these drones has received the most attention, leading to the invention of different types of drones of different sizes and weights. Due to the similarity in requirements and the nature of the missions, the applications of UASs are assessed according to the following categories: inspection, survey and mapping; agricultural and environmental research; search and rescue (SAR) missions; delivery of mail and other goods; military missions; maritime and underwater missions; space missions and other applications.

Keywords: *UAV, UAS, sensor, multicopter drone, artificial intelligence, precision agriculture*

Hajnal Kornél BSc-hallgató Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar kishajnalmed@gmail.com orcid.org/0009-0007-1191-5096	Kornél Hajnal BSc Student Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering kishajnalmed@gmail.com orcid.org/0009-0007-1191-5096
Hegyi Fanni Rozália BSc-hallgató Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar hegyifannisuli@gmail.com orcid.org/0009-0004-1754-5901	Fanni Rozália Hegyi BSc Student Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering hegyifannisuli@gmail.com orcid.org/0009-0004-1754-5901
Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X	Bertold Békési, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 23–29. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.2

Antal Tamás, Nagy János

A csomagolás és a tárolási körülmények hatása a szárított homoktövisgyümölcs érzékszervi jellemzőire

Laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk a szárított homoktövisbogyók organoleptikus jellemzőit. A szárított termékeket a vízelvonási művelet után azonnal polietilén csomagolásba helyeztük, a tárolásuk hűtőszekrényben (5 °C) és légtérszabályozás nélküli helyiségben (20–24 °C) történt, 4 hónapon keresztül. A tárolási terminus alatt havonta a különböző körülmények között tárolt szárítmányokat érzékszervi vizsgálat alá vontuk. Az érzékszervi vizsgálatba bevont személyek megítélése alapján az önállóan fagyasztva szárított homoktövisbogyó már az első hónap után, mind a szobahőmérsékleten, mind pedig a hűtőszekrényben puhult, ragadóssá vált és kismértékben nedvesedett. A hibrid szárítási megoldások közül a tárolási terminus teljes ideje alatt – szobahőmérsékleten és hűtőberendezésben egyaránt – a kombinált módszerekkel szárított homoktövis porítható, ropogós, száraz, de a külső megjelenés nem minden esetben megfelelő. A szárítási eljárások közül a vákuum-elő- és fagyasztva utószárítás a javasolt vízelvonási megoldás a vizsgált termékek tárolását és érzékszervi tulajdonságait tekintve. Emellett megállapítottuk, hogy a szobahőmérsékleten történő tárolási kondíció megfelelő a vizsgált termék tárolására az érzékszervi tulajdonságok alapján.

Kulcsszavak: *homoktövis, fagyasztva szárítás, kombinált szárítás, polietilén csomagolás, tárolás, érzékszervi jellemzők*

1. Bevezetés

A fagyasztva szárított bogyós gyümölcsök intenzív higroszkópos anyagoknak számítanak, elsősorban a dehidrálási eljárásból és a gyümölcs jellegéből adódóan. Ez azt jelenti, hogy a csomagolatlan liofilizált termék rövid idő alatt – akár 15–30 min – nedvességet vesz fel a környezetből, és elveszíti ropogós, porítható, omlós, száraz és törékeny állagát [3]. Az élelmiszeripari vállalat számára igazi kihívást jelent, hogy a fagyasztva szárítóból kikerülő késztermékét a lehető legrövidebb idő alatt becsomagolják megfelelő csomagolóanyagba. Emellett a termék stabilitásának megőrzése érdekében el kell kerülni a teljes tárolás során a nedvesség felszívódását az anyagba [2].

A fagyasztva szárítás jelen ismereteink szerint a legkíméletesebb élelmiszer-tartósítási eljárás, mivel a késztermék megőrzi a nyersanyag értékes kémiai és mikrostrukturális tulajdonságait, ennek ellenére az üzemeltetési költség többszöröse az ismert vízelvonási eljárásokhoz képest [1].

A szárítás történhet úgynevezett kombinált, vagy más néven hibrid eljárási móddal, amikor vákuum-, illetve infravörös szárítással kapcsoljuk össze a fagyasztva szárítást. Hipotézisünk, hogy ez a szárítási mód olcsóbb, és kedvezőbb a termék eltarthatósága, mint a liofilizálásnál.

A homoktövis (*Hippophae rhamnoides* L.) rendkívül érzékeny gyümölcs, mivel nehezen szárítható, a szárítás után a szárítmány azonnal rehidratálódik. A gyümölcs ennek ellenére szuperélelmiszernek számít, mivel kiemelkedő mennyiségű C-vitamint, E-vitamint, A-provitamint (alfa-, béta-karotin, karotinoidok, likopin), K-vitamint, D-vitamint, illetve B_1-, B_2-, B_3-vitamint, folsavat, tokoferolokat és flavonoidokat, illetve ómega zsírsavakat tartalmaz [4].

A tanulmány célkitűzései: 1. A megfelelő tárolási mód (hűtő vagy szobahőmérséklet) kiválasztása a szárított termékek számára. 2. A késztermék érzékszervi vizsgálata által megtalálni a megfelelő szárítási módot a drága üzemeltetési költségű liofilizálás helyett. Ilyen jellegű vizsgálatok nem találhatók meg a szakirodalomban.

2. Anyag és módszertan

2.1. Nyersanyag

A nyersanyagot bő vízben megtisztítottuk, majd blansíroztuk 80 °C-os vízben, a kezelés időtartama 1 min volt. Az előkezelés célja, hogy a homoktövisbogyók permeabilitását növeljük.

2.2. Szárítási módszerek

A következő szárítási módszerekkel dehidráltuk a homoktövisgyümölcsöt: egyfokozatú fagyasztva szárítás (FD), kétfokozatú vákuum-elő- és fagyasztva utószárítás (2hVD-FD), infravörös fagyasztva szárítás (4minMIR-FD), illetve az utóbbi kétfokozatú módszerek inverz megoldásai. Az 1. táblázat tartalmazza az alkalmazott szárítási programot.

1. táblázat
A szárítási program a homoktövis vízelvonására [a szerzők]

A program jelzése	Előszárítási idő	Előszárítási hőmérséklet	Utószárítási idő	Utószárítási hőmérséklet	Teljes szárítási idő
FD	–	–	–	–	22 h
4minMIR-FD	4 min	40 °C	14 h	20 °C	14,06 h
FD-4minMIR	13 h	20 °C	4 min	40 °C	13,06 h
2hVD-FD	2 h	40 °C	15 h	20 °C	17 h
FD-2hVD	15 h	20 °C	2 h	40 °C	17 h

A kísérletben felhasznált homoktövisbogyók szárítását tömegállandóságig végeztük. A szárítást minden esetben háromszori ismétléssel hajtottuk végre, a tanulmányban az átlagértékeket jelenítettük meg.

2.3. Tárolás

A szárított termékeket a vízelvonási művelet után azonnal PE-csomagolásba (v = 30 µm) helyeztük, a levegőt kiszorítottuk a csomagból. A feldolgozott nyersanyagot 5 × 100 g-os adagokra osztottuk fel (JHK-500 típusú digitális mérleg). A kész csomagokat felcímkéztük, tárolásuk hűtőszekrényben (Lehel HB 160 típusú hűtőszekrény: T = 4–5 °C, ϕ = 40–45%) és légtérszabályozás nélküli szobában, polcon történt (T = 20–24 °C, ϕ = 50–65%). A hőmérséklet és a levegő páratartalmának mérése mindkét esetben digitális hőmérővel történt heti rendszerességgel.

A szárítás után mindegyik mintából egy részt csomagolás nélkül a laborban hagytunk.

2.4. Organoleptikus vizsgálat

A tesztelést 15 panel végezte el – ivararányt tekintve 9 férfi és 6 nő (életkor: 20–45 év) –, 1–5 pontos skála segítségével (1: rossz; 5: kiváló), a következő organoleptikus jellemzőket vizsgálták: ropogósság, poríthatóság, ragadósság, puhaság, keménység, nedvesség, szárazság, zsugorodás, fakulás és barnulás. Ezek közül súlyozottan értékelt a ropogósság, a poríthatóság, a szárazság, a zsugorodás és a barnulás. A kontrollminta minden esetben a nyersanyag volt.

A vizsgálatokat a tárolási terminus alatt havonta (1, 2, 3 és 4) ismételték.

3. Eredmények

A 2–6. táblázatban láthatók a különböző vízelvonási eljárásokkal szárított homoktövisbogyó érzékszervi vizsgálaton alapuló összesített pontszámai. Ezek az adatok a 15 bíráló által adott pontszámok átlagértékei.

A szárítási folyamat végeztével a panelek azonnal tesztelték a mintákat (2. táblázat: 0. hó jelzéssel). Az eredményekből megállapítható, hogy a liofilizált (FD) és a kombinált módszerekkel szárított bogyók között lényeges eltérés nem mutatkozott, kivételt képez a zsugorodás, a fakulás és a barnulás jellemző. Az infravörös-fagyasztva (MIR-FD) és fagyasztva-infravörös szárított (FD-MIR) minták nagyobb mértékű zsugorodást szenvedtek a szárítás során, és színük is szemmel láthatóan sötétedett. A liofilizált (FD) minták külső megjelenésben a nyersanyagtól leginkább a színben mutattak eltérést a fakulás miatt. A súlyozottan figyelembe vett organoleptikus jellemzők közül a ropogósság, a poríthatóság és a szárazság minden vízelvonási módszerrel kezelt szárítmány esetében 4,2 érték felett volt, ami pozitívan értékelhető a fogyasztói elvárásokat alapul véve.

2. táblázat
A homoktövis-szárítmányok érzékszervi összpontszámai, 0. hó [a szerzők]

A szárítási program jele	Ropogós	Poritható	Ragadós	Puha	Kemény	Nedves	Száraz	Zsugorodás	Szín: Fakulás	Szín: Barnulás
FD	4,3	4,2	1,4	1,6	2,4	1,4	4,6	1,3	4,3	1
4minMIR-FD	4,3	4,4	1,1	1,5	2,5	1,2	4,7	2,7	3,1	2,4
FD-4minMIR	4,5	4,6	1,2	1,8	3,6	1	4,8	2,9	1	3,1
2hVD-FD	4,4	4,8	1	1,4	2,9	1,1	4,5	1,3	3,9	1,3
FD-2hVD	4,4	4,2	1,3	2,1	2,7	1,3	4,3	1,6	3,3	1,5

Az 1 hónapos tárolási időszak leteltével mind a szobahőmérsékleten, mind a hűtőszekrényben tárolt minták érzékszervi vizsgálata következett (3. és 4. táblázat). A 3. és a 4. táblázatból megállapítható, hogy a két különböző helyen tárolt, szárított homoktövisminták organoleptikus jellemzőiben nagymértékű eltérés nem mutatkozott.

Az FD-minták esetében tapasztalható negatív változás már az 1 hónapos tárolás után megfigyelhető: veszített a termék a ropogósságából, a poríthatóságából és szárazságából.

3. táblázat
A szobahőmérsékleten tárolt szárítmányok érzékszervi összpontszámai, 1. hó [a szerzők]

A szárítási program jele	Ropogós	Poritható	Ragadós	Puha	Kemény	Nedves	Száraz	Zsugorodás	Szín: Fakulás	Szín: Barnulás
FD	2,4	2,1	3,9	4,1	1,4	2,5	1,8	1,5	4	1,7
4minMIR-FD	4,1	4	1,4	1,3	2,9	1	4,2	2,5	2,9	2,6
FD-4minMIR	4	3,8	1,6	1,9	3,2	1,7	4,1	2,8	1,1	3,5
2hVD-FD	4,5	4,5	1	1,3	3,2	1,3	4,6	1,7	3,3	1,6
FD-2hVD	4,4	4,3	1,2	2	2,3	1,7	4	1,4	3,7	1,8

4. táblázat
A hűtőberendezésben tárolt szárítmányok érzékszervi összpontszámai, 1. hó [a szerzők]

A szárítási program jele	Ropogós	Poritható	Ragadós	Puha	Kemény	Nedves	Száraz	Zsugorodás	Szín: Fakulás	Szín: Barnulás
FD	2,9	2,2	4	3,9	2,1	2,3	1,6	1,3	4,1	1,8
4minMIR-FD	4	4,2	1,6	1,6	2,9	1,4	3,8	2,7	3	2,5
FD-4minMIR	4	4,2	1,5	1,7	3,5	1,8	4,1	2,5	1	3,7
2hVD-FD	4,6	4,3	1,2	1,2	2,4	1,2	4,5	1,5	3,6	1,5
FD-2hVD	4,3	4,2	1,5	1,5	1,8	1,2	4,1	1,7	3,5	1,9

Mivel a tárolási terminus 2. és 3. havában az organoleptikus jellemzők tekintetében konstans vagy lassú mértékű degradáció következett be, ezért ezeket az adatokat jelen tudományos műben nem ábrázoljuk.

Az 5. és a 6. táblázatban jelenítettük meg a vizsgált tárolási – polcon és hűtőberendezésben – folyamat végén (4. hónap) kapott organoleptikus vizsgálat eredményeit.

5. táblázat
A szobahőmérsékleten tárolt szárítmányok érzékszervi összpontszámai, 4. hó [a szerzők]

A szárítási program jele	Ropogós	Porítható	Ragadós	Puha	Kemény	Nedves	Száraz	Zsugorodás	Szín: Fakulás	Szín: Barnulás
FD	2	1,9	4,1	4,3	1,1	3,7	1,2	1,5	2,9	2,2
4minMIR-FD	3,9	3,8	2	2,1	2,7	2,3	3,7	2,1	2	2,7
FD-4minMIR	3,1	3,3	2,4	2,2	2,5	2,7	3,5	2,6	1,5	3,9
2hVD-FD	4,2	4,2	1,5	1,5	2,5	1,7	4,3	1,7	3	1,9
FD-2hVD	3,5	4	2,2	2,4	2,8	2,2	3,6	1,6	2,4	2,1

6. táblázat
A hűtőberendezésben tárolt szárítmányok érzékszervi összpontszámai, 4. hó [a szerzők]

A szárítási program jele	Ropogós	Porítható	Ragadós	Puha	Kemény	Nedves	Száraz	Zsugorodás	Szín: Fakulás	Szín: Barnulás
FD	2,1	2	4,3	4,4	1,3	2,9	1,4	1,7	3,1	2,4
4minMIR-FD	4	3,9	1,9	2,2	2,4	2,4	3,5	2,4	2,2	2,8
FD-4minMIR	3,4	3,2	2,4	2,5	2,6	2,8	4	2,3	1,6	3,8
2hVD-FD	4,3	4,4	1,4	1,6	2,7	1,9	4,4	1,9	3,2	2
FD-2hVD	3,4	3,8	2,5	2,5	2,7	2,6	3,3	1,9	1,9	2,4

A 4 hónapos tárolás végén az FD-minták nem felelnek meg a fogyasztói elvárásoknak, viszont a 2hVD-FD- és a 4minMIR-FD-eljárással szárított homoktövisbogyók mindkét tárolási mód esetében megőrizték a súlyozott organoleptikus jellemzők magas értékeit.

4. Következtetések és javaslatok

A csomagolás nélküli minták a szárítási módtól függően 18–23 min után rehidratálódtak, és elveszítették száraz, porítható, omlós és ropogós állagukat. Az érzékszervi vizsgálatba bevont 15 fő megítélése alapján a kombinált módszerrel szárított anyag porítható, ropogós, száraz, de a színe nem minden esetben megfelelő. Az organoleptikus vizsgálatok nem mutattak szignifikáns különbséget a szobahőmérsékleten és a hűtőberendezésben tárolt termékek között. Mindezen eredményeket figyelembe véve a szobahőmérsékleten történő tárolást javasoljuk a szárított és PE-csomagolt homoktövis tárolására. Az érzékszervi vizsgálatba

bevont személyek megítélése alapján az önállóan fagyasztva szárított homoktövisbogyó már az első hónap után, mind szobahőmérsékleten, mind a hűtőszekrényben puhult, ragadóssá vált és kismértékben nedvesedett.

A tárolási vizsgálat alapján a 2hVD-FD módszer ajánlott a fagyasztva szárítás (FD) helyett a homoktövisgyümölcs szárítására. A felállított rangsor: 1. 2hVD-FD; 2. 4minMIR-FD; 3. FD-2hVD.

A 2hVD-FD szárítási megoldás 22,7%-kal, a 4minMIR-FD szárítási mód pedig 36,1%-kal csökkentette a liofilizálás működési idejét.

Jövőbeni cél a kombinált szárítmányok vákuum- és/vagy módosított atmoszférájú csomagolásának (MAP) tesztelése. Tudományosan alá kell támasztani, hogy mi okozza a hibrid szárítással tartósított homoktövis állagmegőrzését a tárolás alatt.

Kutatási eredményeink hasznosak azon ipari szereplők részére, akik fagyasztva szárított növényi anyagok tartósításával és tárolásával foglalkoznak.

Felhasznált irodalom

[1] A. Ciurzyńska, A. Lenart, „Freeze-Drying-Application in Food Processing and Biotechnology-A review," Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 61. évf. 3. sz. pp. 165–171. 2011. Online: https://doi.org/10.2478/v10222-011-0017-5

[2] A. W. Ford, P. J. Dawson, „Effect of Type of Container, Storage Temperature And Humidity on the Biological Activity of Freeze-Dried Alkaline Phosphatase," Biologicals, 22. évf. 2. sz. pp. 191–197. 1994. Online: https://doi.org/10.1006/biol.1994.1026

[3] C. C. Hsu et al., „Determining the Optimum Residual Moisture in Lyophilized Protein Pharmaceuticals," Developments in Biological Standardization, 74. évf. pp. 255–270. 1992.

[4] L. M. Bal et al., „Sea Buckthorn Berries: A Potential Source of Valuable Nutrients For Nutraceuticals and Cosmoceuticals," Food Research International, 44. évf. 7. sz. pp. 1718–1727. 2011. Online: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.002

The Effect of Packaging and Storage Conditions on the Organoleptic Characteristics of Dried Sea Buckthorn Fruit

The organoleptic characteristics of dried sea buckthorn berries were investigated under laboratory conditions. The dried products were placed in polyethylene packaging immediately after the dehydration operation and stored in a refrigerator (5 °C) and in a room without air control (20–24 °C) for 4 months. During the storage period, the dried products stored under different conditions were subjected to sensory tests every month. Based on the judgment of the panels involved in the sensory test, the freeze-dried sea buckthorn became sticky and slightly moistened already after the first month, both at room temperature and in the refrigerator. Among the hybrid drying solutions, sea buckthorn dried with combined methods is can be powdered, crispy and dry during the entire storage period – both at room temperature and in refrigeration equipment – but the external appearance is not always appropriate. Among the drying processes, vacuum pre- and

freeze finish-drying are recommended dehydration solutions in terms of the storage and sensory properties of the tested products. In addition, we found that the storage condition at room temperature is suitable for the storage of the tested product based on the sensory properties.

Keywords: *sea buckthorn, freeze drying, combined drying, polyethylene packaging, storage, sensory characteristics*

Dr. habil. Antal Tamás egyetemi docens Nyíregyházi Egyetem Jármű és Mezőgazdasági Géptani Tanszék antal.tamas@nye.hu orcid.org/0000-0002-9505-7100	Tamás Antal, habil., PhD Associate Professor University of Nyíregyháza Department of Vehicles and Agricultural Machines antal.tamas@nye.hu orcid.org/0000-0002-9505-7100
Nagy János tanársegéd Nyíregyházi Egyetem Jármű és Mezőgazdasági Géptani Tanszék nagy.janos@nye.hu orcid.org/0009-0004-8793-9869	János Nagy Assistant Lecturer University of Nyíregyháza Department of Vehicles and Agricultural Machines nagy.janos@nye.hu orcid.org/0009-0004-8793-9869

Köszönetnyilvánítás

A konferencia-előadás anyaga a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és a Nyíregyházi Egyetem Tudományos Tanácsa támogatásával készült.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 31–41. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.3

Kiss Zsolt Péter, Kassai Zsolt, Szente Márk

A gumiabroncsok fáradásos bordatörés-vizsgálati lehetőségeinek meghatározása laboratóriumi körülmények között

A bordák kifáradásos törése a mezőgazdasági gumiabroncsok egyik jellemző meghibásodása. Az ilyen jellegű sérülések okainak feltárásában nagy nehézséget jelent, hogy a bordatörések elkerülése érdekében elvégzett tervezői és gyártási módosítások hatásának ellenőrzése csak igen hosszadalmas és költséges vizsgálati módszerrel (tartós üzemi teszttel) lehetséges. A tanulmány célja egyrészt egy olyan vizsgálati módszer kidolgozása, amelynek segítségével laboratóriumi körülmények között reprodukálható módon előidézhető a fáradásos bordatörés, valamint kifejlesztettünk egy olyan berendezést, amelynek segítségével lehetővé válik az ilyen jellegű meghibásodások laboratóriumi körülmények közötti, gyors és reprodukálható módon történő vizsgálata.

Kulcsszavak: *gumiabroncs, kifáradásos vizsgálat, bordatörés*

1. Előzmények, a téma célkitűzése

A mezőgazdasági gumiabroncsok egyik jellemző meghibásodása a bordató kifáradásos törése (1. ábra). Az ábrán látható jelenség a borda részeinek, illetve egészének letörésével és ezáltal a gumiabroncs tönkremenetelével jár, ami alkalmatlanná teszi mind a közúti közlekedésben való biztonságos részvételre, mind a gyakorlati munkavégzésre. Bekövetkezte esetén csökken a vonóerő, megnő a szlip és kiegyensúlyozatlanná válik az erőgép egyenes futása, valamint romlanak a különböző munkavégzési minőségi mutatók (például az egyenletesség).

Az ilyen jellegű meghibásodások gyakoriságának csökkentése, illetve a bordák élettartamának növelése érdekében a gumiabroncs gyártója folyamatosan fejleszti a gyártás technológiáját, illetve az alkalmazott anyagösszetételt. Ugyanakkor nehézséget jelent az, hogy az ily módon elvégzett módosítások hatásának ellenőrzését jelenleg csak hosszadalmas és költséges vizsgálati módszerrel (úgynevezett tartós üzemi teszttel) végzik. Ezért szükségessé vált egy olyan vizsgálati módszer kidolgozása, amelynek segítségével az ilyen jellegű meghibásodások laboratóriumi körülmények között, gyorsan és reprodukálható módon előidézhetők.

Ennek megfelelően a tanulmány célja egy olyan vizsgálati módszer kidolgozása, amelynek segítségével reprodukálható módon előidézhető az előzőekben ismertetett fáradásos bordatöréses meghibásodás. További célja a tanulmánynak egy olyan vizsgáló berendezés kifejlesztése és elkészítése, amelynek segítségével végrehajthatók az ilyen jellegű vizsgálatok.

1. ábra
A fáradásos törés helye az abroncson [a szerzők]

2. A gumiabroncsok fáradásosbordatörés-vizsgálati modelljének kidolgozása

A szakirodalom áttanulmányozása során megállapítottuk, hogy jelenleg nincs olyan vizsgálati módszer, amely alkalmas lenne a gumiabroncsok laboratóriumi körülmények között elvégezhető bordatörés-vizsgálatára. A bordatörés-vizsgálatok úgynevezett tartós üzemi, tehát rendes üzemi körülmények között elvégzett, hosszú ideig tartó vizsgálatokkal történnek. Ennek a módszernek a hátránya, hogy egy-egy vizsgálat ideje az egyéves időtartamot is meghaladja.

Ezt követően áttekintettük, hogy a korábbi évtizedekben végzett gumiabroncs-vizsgálataink tapasztalatai alapján milyen módszer lenne alkalmas a fáradásosbordatörés-vizsgálat meggyorsítására, laboratóriumi vizsgálatra.

Lehetséges változatként a következő módszereket vizsgáltuk meg:

a) a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet meglevő, kör alakú fárasztópályájának átalakítása úgy, hogy a vizsgálati pálya felületét érdesítjük és megváltoztatjuk oly módon, hogy azzal elérhető legyen a kívánt cél;
b) a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet meglevő, fárasztódobos vizsgálóberendezésének átalakításával azt befogókészülékben rögzítjük, majd a kerületi erő irányával megegyező irányú erővel ciklikusan terheljük;
c) a vizsgálandó abroncsbordát az abroncsból kivágva speciális berendezésben a kerületi erő irányával megegyező ciklikus erővel terheljük.

Az egyes lehetőségeket megvizsgálva a következő következtetésekre jutottunk:

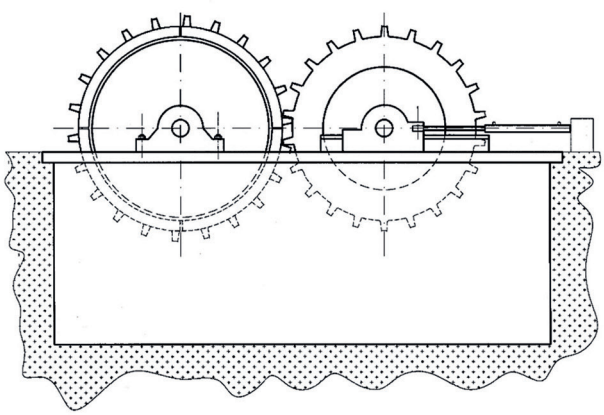
a) A kör alakú fárasztópálya (2. ábra) lehetséges átalakítása és felhasználása a vizsgálatokhoz: a fárasztópályának a céloknak megfelelő átalakítása során a szóba jöhető megoldás az útfelület érdesítése annak érdekében, hogy megfelelő hajlítóerő jöhessen létre a borda deformálásához. A meglévő fárasztókocsira szereljük a vizsgálandó abroncsot, majd a kocsit az előre meghatározott függőleges terhelés és kerékcsúszás mellett vontatva tudjuk létrehozni a kívánt bordaterhelést.

2. ábra
A fárasztópálya [a szerzők]

A módszer *előnye,* hogy egyszerre történik a gumiabroncson található összes borda fárasztóvizsgálata – egy vizsgálati ciklus során (például meghatározott időtartam, illetve futásteljesítmény után) kb. 30–40 alkalommal történik meg az éppen aktuális állapot szemrevételezéssel és mérésekkel való vizsgálata és az eredmények rögzítése. *Hátránya* a módszernek, hogy nem mérhető pontosan az egy-egy bordára eső kerületi irányú erőterhelés. A borda terhelésének nagysága és iránya a fárasztópálya útfelületének inhomogenitása miatt térben és időben változó. Ezért a módszer validálása nem megoldható, összehasonlító vizsgálatokra nem alkalmas.

b) A meglevő fárasztódobos vizsgálóberendezés (3. ábra) alkalmazása esetén a fárasztódob felületén utólagosan elhelyezett „kapaszkodó körmök" biztosítanák a megfelelő bordaterhelés létrehozását (4. ábra).

3. ábra
A jelenlegi fárasztódob [a szerzők]



4. ábra
A fárasztódob „kapaszkodó körmeinek" és a gumiabroncs bordáinak összekapcsolódása [a szerzők]

A fárasztódobra az előre meghatározott erővel leszorított gumiabroncsot, illetve annak bordáit a dob forgatásával lehet terhelni. A vizsgált gumiabroncs bordái a „kapaszkodó körmökbe" kapcsolódnak, így történik a terhelésük. A módszer *előnye,* hogy egyszerre történik a gumiabroncson található összes borda fárasztóvizsgálata – egy vizsgálati ciklus során (például meghatározott időtartam, illetve fordulat [terhelés] után) kb. 30–40 alkalommal történik meg az éppen aktuális állapot szemrevételezéssel és mérésekkel való vizsgálata és az eredmények rögzítése. A módszer *hátránya,* hogy nem mérhető pontosan az egy-egy bordára eső kerületi irányú erőterhelés. A borda terhelésének nagysága a bordafelületnek a dobfelületen történő változó nagyságú csúszása miatt térben és időben változó. Minden egyes gumiabroncsmérethez újra kell állítani a bordaosztásnak megfelelő „kapaszkodó köröm" osztást, ami az adott kerületen nem minden esetben valósítható meg – gyakori dobcsere (új dobok gyártása). A módszer validálása nem megoldható, összehasonlító vizsgálatokra nem alkalmas.

c) A gumiabroncsborda befogókészülékben történő vizsgálatához a gumiabroncsból ki kell vágni a vizsgálandó bordát, majd rögzíteni kell azt a készülékben. Ezt követően a bordán létrehozható olyan erőhatás, amely hajlító igénybevételnek teszi ki a bordatövet. Ciklikusan alkalmazva ezt az erőhatást modellezhető a kifáradásos törés. A módszer *előnye,* hogy pontosan beállítható és ellenőrizhető a borda terhelése. A terhelési ciklus fokozatmentesen megválasztható. A módszer validálása várhatóan megvalósítható. A módszer *hátránya,* hogy a borda kivágása és készülékben történő merev rögzítése miatt a borda igénybevétele a valóságostól eltér. A valóságban ugyanis a borda rugalmasan kötődik a gumiabroncs vázszerkezetéhez. Ennek megfelelően a módszer nem képes megfelelően biztosítani a tényleges üzemi körülményeket.

d) A vizsgálandó borda kerületierő-irányú ciklikus terhelését tehát az abroncson kell megoldani úgy, hogy nem vágjuk ki, és nem rögzítjük befogókészülékben a bordát, hanem magát a gumiabroncsot rögzítjük adott helyzetben. A fixen befogott és megfelelő függőleges erővel terhelt abroncsnak a függőleges terhelést felvevő bordáját terheljük majd a kerületi erő által. A módszer *előnye,* hogy pontosan beállítható és ellenőrizhető a borda terhelése. A terhelési ciklus fokozatmentesen megválasztható. Ugyancsak pontosan beállíthatók és programszerűen módosíthatók a vizsgálati körülmények (az abroncs belső nyomása, környezeti hőmérséklet, az erőhatás iránya stb.). A bordának a gumiabroncson történő terhelése miatt a fellépő borda-igénybevétel megfelelően megközelíti a tényleges üzemi körülményekből származó igénybevételt. A módszer validálása megvalósítható. A módszer *hátránya,* hogy egy időben „csak" egy borda fárasztása történik.

A fáradásos bordatörés vizsgálati idejének meggyorsítására, illetve a laboratóriumi vizsgálat megvalósíthatóságára kidolgozott négy javaslat közül az előzőekben felsorolt értékelés alapján a d) módszer továbbfejlesztett változatát, azaz a bordának a gumiabroncson történő, a gumiabroncs befogásával végzett vizsgálati modelljét választottuk.

3. A kiválasztott vizsgálati módszer megvalósítása

A kiválasztott vizsgálati módszer megvalósításához vizsgálóberendezést alakítottunk ki. A berendezés kialakításához először meghatároztuk a vizsgálat követelményrendszerét, azokat a vizsgálati paramétereket, amelyek hatással vannak a berendezés szerkezetére, műszaki paramétereire.

3.1. A mérendő és rögzítendő paraméterek

A megbízóval történt egyeztetés után meghatároztuk azokat a paramétereket, amelyeket a vizsgálat során mérni, illetve rögzíteni kell, illetve amelyek behatárolják a kifejlesztendő vizsgálóberendezés konstrukcióját [5].

A mérendő és rögzítendő paraméterek a következők:

- x irányú (vízszintes) erő a bordán (F_x);
- z irányú (függőleges) erő az abroncson (F_z);
- x irányú elmozdulás a vizsgált borda hátoldalán;
- a felületi hőmérséklet mérése a bordatőben;
- külső hőmérséklet;
- a gumiabroncs belső nyomása;
- a bordák felületének képe a bordatőben egy minimum 20 pixel/mm felbontású kamerával rögzítve (csak nyugalmi állapotban, azaz megállásonként rögzítendő);
- a mérésekhez tartozó időpont (szinkronizálás);
- a terhelés, azaz a vízszintes irányú erő frekvenciája.

Példaként a 14,9 R38 méretű gumiabroncsra vonatkozó vizsgálati paramétereket az alábbi, 1. táblázatban foglaltuk össze. Figyelembe véve a vizsgálatba bevonható legnagyobb méretű abroncsok terhelési viszonyait, a berendezéssel a következő nagyságú maximális függőleges és vízszintes irányú erőket kell tudni majd kifejteni:

- Max F_x = 12 000 N (egy bordára ható vízszintes erő);
- Max F_z = 70 000 N (az abroncs függőleges irányú teljes terhelése).

A vízszintes erő meghatározása a μ segítségével történt (μ = függőleges/vízszintes erőkomponens). A vízszintes (F_x) erő esetén 1 bordát terhelő értéket vettünk figyelembe, míg a függőleges (F_z) erő esetén a talajlenyomatba eső bordák számával osztottuk az (F_z) erő nagyságát. A függőleges és vízszintes irányú erők a 0 és a max. értékek között fokozatmentesen, bármely értékre beállíthatók. Az 1. táblázatban található egyéb jellemzők (frekvencia, ciklusszám stb.) a nagyobb terhelés, illetve más abroncsméret esetén is változatlanok.

1. táblázat
A gyárral egyeztetett vizsgálati paraméterek [a szerzők]

MÉRET	**14,9 R 38 P8 TA**				
	Kísérleti beállítások 1	**Kísérleti beállítások 2**	**Kísérleti beállítások 3**	**Kísérleti beállítások 4**	**Kísérleti beállítások 5**
Belső nyomás [bar]	2	2	2	2	2
Feltöltve	víz (75%)	víz (75%)	víz (75%)	víz (75%)	víz (75%)
Terhelés (Z) [kg]	3090	3090	3090	3090	3090
Erő (Z) [N]	30 313	30 313	30 313	30 313	30 313
μ max.	1	1	1	1	1
μ min.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Erő max. (X) [N]	30 313	15 156	30 313	15 156	30 313

MÉRET	14,9 R 38 P8 TA				
	Kísérleti beállítások 1	Kísérleti beállítások 2	Kísérleti beállítások 3	Kísérleti beállítások 4	Kísérleti beállítások 5
Erő min. (X) [N]	15 156	15 156	15 156	15 156	15 156
Erő max. (X) [N] / borda	5052	2526	5052	2526	5052
Erő min. (X) [N] / borda	2526	2526	2526	2526	2526
Pánt ["]	13	13	13	13	13
Fárasztási idő [h]	300	300	300	300	300
A ciklusok száma min.	700 000	1 080 000	1 080 000	700 000	2 160 000
A ciklusok száma max.	2 160 000	2 160 000	2 160 000	2 160 000	2 160 000
Ciklus / h	2 333	3 600	3 600	2 333	7 200
Frekvencia [Hz]	0,65	1,00	1,00	0,65	2,00
Idő a két deformáció között [s]	1,54	1,00	1,00	1,54	0,50

A vízfeltöltés célja a gyakorlatban is alkalmazott eljárás modellezése és vizsgálata, amelyet a nagy nyomatékigényű munkavégzés közben (például az adhézió növelése érdekében) használnak. Ez alapvetően a tengelyterhelés megtartása mellett növeli a bordák terhelését, így lehetővé teszi a nagyobb nyomaték kifejtését. Ezen beállítás nem vonható össze a későbbiekben szerepeltetett függőleges erő növelésével, mert a vízfeltöltés nemcsak a borda terhelését, hanem az abroncsváz merevségét is megváltoztatja.

3.2. A kialakított vizsgálóberendezés

A kísérleti berendezést a 2. pontban meghatározott vizsgálati módszernek és a 3.1. pontban feltüntetett vizsgálati paramétereknek megfelelő módon alakítottuk ki. A tervezés és a gyakorlati kialakítás során segítségünkre szolgált a korábban a mezőgazdasági abroncsmodell és a talaj kontaktnyomásának mérésére megalkotott Danhauser hidraulikus mérőrendszerünk [2], [4]. A mérőberendezés alkalmas a különböző méretű mezőgazdasági gumiabroncsok egy bordájának tartós üzemi fárasztóvizsgálatára, valamint a mért és a folyamatosan rögzített paraméterek révén a megrendelő által a vizsgált gumiabroncs kiválasztott jellemzőinek a meghatározására.

A berendezés (5. ábra) több egységből épül fel:

- a gumiabroncs tartószerkezete;
- a vízszintes mérőkocsi és tartószerkezete;
- a hidraulikus működtetőelemek;
- a hidraulikus tápegység.

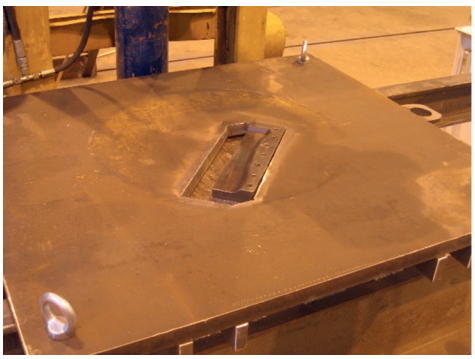
5. ábra
Az elkészült vizsgálóberendezés [a szerzők]

A gumiabroncs tartószerkezete (6. ábra) függőleges elhelyezésű és függőleges irányú elmozdulást lehetővé tevő tartóegység. A tartóegységet a talajra csavarkötéssel rögzítettük, amelyben a gumiabroncsot tartó tengely függőleges irányban állítható. A vázszerkezetben a függőleges irányú elmozdulást kocsiszerkezet biztosítja. A kocsiszerkezet magába foglalja a gumiabroncs tengelyét, a tengelyirányú elmozdulás csavarkötések oldását követően állítható. Az állítás minden gumiabroncsméret esetén szükséges. A tengely végére kerékagyat rögzítettünk, amely közvetlenül a keréktárcsát fogja. A kocsiszekrény mozgatását időszakosan végezzük hidraulikus munkahengerrel, amelyet elsősorban a gumiabroncs, illetve a borda kiemelésére és mérési pozícióba való visszaállítására használunk.

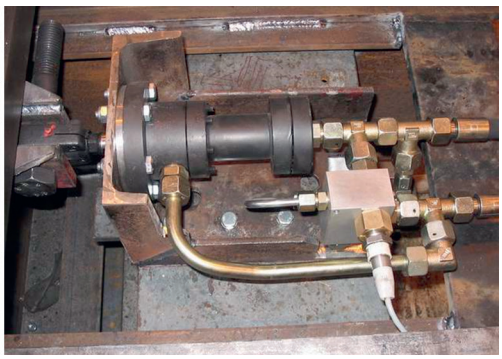
6. ábra
A gumiabroncs-tartószerkezet [a szerzők]

A gumiabroncs alatt helyezkedik el a borda vízszintes elmozdulását lehetővé tevő úgynevezett tárgyasztal. A tárgyasztal vízszintes elrendezésű, amelyen kivágtunk egy, a borda elmozdulását lehetővé tevő ablakot. A beállított tengelyterhelésnek megfelelően a tárgyasztalra fekszik fel a vizsgálandó gumiabroncs. A kivágott ablak a mérendő borda alatt helyezkedik el.

A tárgyasztal (7. ábra) alatt vízszintes irányban alternáló mozgást végző kocsiszerkezet található. A kocsiszerkezeten alakítjuk ki a mérendő borda alátámasztását, illetve mozgatását végző bélyeg helyét. A kocsiszekrény vízszintes irányú alternáló mozgását kis löketű hidraulikus munkahenger (8. ábra) végzi, amely lehetőséget nyújt a mérendő borda 0,5–2,0 Hz-es frekvenciatartományban való mozgatására. Az értéktartományt a korábban elvégzett rezgés- és lengéstani vizsgálatok alapján, illetve a megrendelő tervező- és termékvizsgálati mérnökeivel egyeztetve választottuk ki [1], [3].



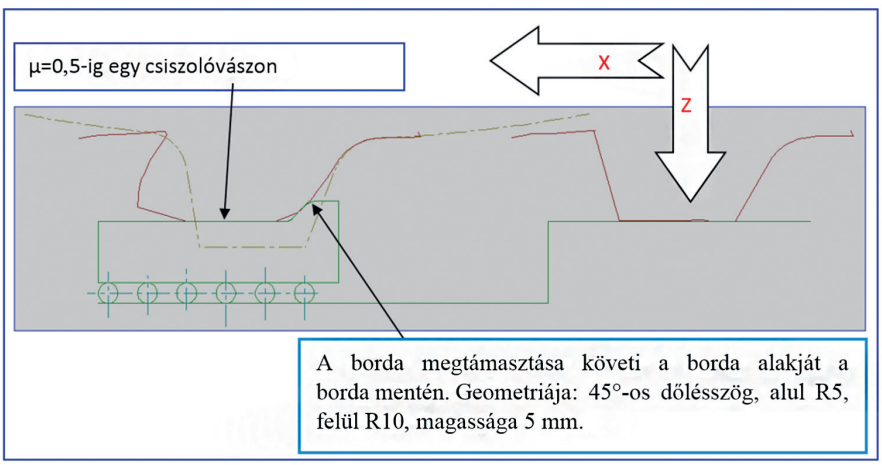
7. ábra
A kocsiszerkezet és a mérőbélyeg [a szerzők]



8. ábra
A kocsiszekrényt mozgató hidraulikus munkahenger [a szerzők]

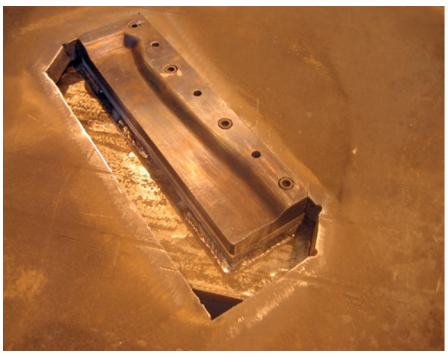
3.3. A mérőbélyeg kialakítása

A mérőbélyeg kialakítása a 9. ábrán látható. Minden mérendő gumiabroncstípushoz más és más bordaprofilú bélyeget alkalmazunk.

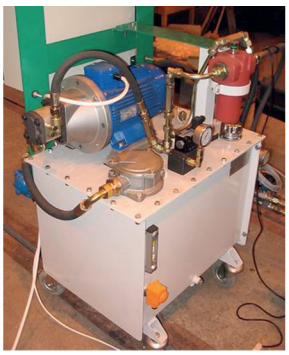


9. ábra
Egy lehetséges bélyegprofil-kialakítás [a szerzők]

A bélyegprofilok, illetve a kapcsolódó méretek a megrendelővel megállapított optimális bordakialakítás alapján történnek. A bélyeg (10. ábra) a tárgyasztal kivágott ablakában a kocsiszekrényre rögzítve végez alternáló mozgást. A bélyeg rögzítése csavarkötéssel történik a vízszintesen mozgó kocsiszekrényen. A mozgatást biztosító hidraulikus tápegység és a vizsgálóberendezés automatikus működését lehetővé tevő vezérlőpanel a 11. ábrán látható.



10. ábra
A vízszintes erőátvitelt biztosító bélyeg [a szerzők]



11. ábra
A hidraulikus tápegység és a vezérlőpanel [a szerzők]

4. Összefoglaló

Kutatásaink során feltérképeztük a gumiabroncsok kifáradásosbordatörés-vizsgálatának lehetséges módszereit. A vizsgálat meggyorsítására, illetve a laboratóriumi vizsgálat megvalósíthatóságára kidolgozott négy javaslat közül az elvégzett szakmai értékelések alapján a d) változatot, azaz a gumiabroncson a gumiabroncs befogásával végzett vizsgálati modellt választottuk. Ez az a kísérleti, vizsgálati modell, amelyik a legjobban megfelel a gyakorlatban is fellépő terhelési viszonyoknak, és amely majd a későbbiekben a természetes folyamatokkal való összehasonlításra és validálásra is alkalmas lesz.

Ezt követően a kiválasztott vizsgálati módszer megvalósításához vizsgálóberendezést alakítottunk ki. A berendezés kialakításához először meghatároztuk a vizsgálat követelményrendszerét, azokat a vizsgálati paramétereket, amelyek hatással vannak a berendezés szerkezetére, műszaki paramétereire, majd a követelményrendszer alapján megterveztük, és elkészítettük a vizsgálóberendezést. Ezután került sor a berendezéssel végrehajtandó vizsgálati eljárás kidolgozására, meghatároztuk annak menetét, módszerét és paramétereit. Következő feladatunk a kialakított mérési módszer kipróbálása, „finomítása", majd validálása lesz.

Felhasznált irodalom

[1] Kiss Zs. P., Szőllősi I., „Mezőgazdasági gumiabroncsok profilfejlesztésével kapcsolatos vizsgálatok," in Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, 24. Az előadások tartalmi összefoglalói

XXIV. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Tóth László, Benkóné Pongó N. szerk. Gödöllő, Magyarország: FVM Műszaki Intézet, 2000, p. 47.

[2] Kiss Zs. P., „Egyszerűsített mezőgazdasági abroncsmodell és a talaj kontaktnyomás-mérési módszerének a kidolgozása a Danhauser hidraulikus mérőrendszeren," in Fenntartható Tápanyag-gazdálkodási Tudományos Műhely Konferenciája 2022. Innovatív megoldások a XXI. század mezőgazdaságában: konferenciakiadvány. Irinyiné Oláh K., Kosztyuné Krajnyák E., Szabó B. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 2022, pp. 64–72.

[3] Kiss Zs. P., „Development of a Test Facility for Modelling the Soil Physics Effects of Tyres," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2022: Konferenciakiadvány. Nyíregyháza, 2022. 06. 02. (Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, Magyar Tudományos Akadémia [MTA] Debreceni Területi Bizottság [DAB] Műszaki Szakbizottsága), Páy G. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 36–41.

[4] Kiss Zs. P., „Modeling a Real Tire Load Experiments with a Hydraulic Pressure Tool," in International Multidisciplinary Conference 14th Edition, Páy G. L. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 48–53.

[5] Sárközi L., Kiss Zs. P., „Mezőgazdasági gumiabroncsok talajfizikai tulajdonságainak értékelése," in EU-konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság, Nagy J. szerk. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, 2002, pp. 369–374.

Determination of Fatigue Rib Fracture Test Options for Tyres Under Laboratory Conditions

The fatigue fracture of the ribs is one of the typical failures of agricultural tires. In the investigation of the causes of this kind of injuries, it is a serious difficulty that checking the effect of the design and production modifications carried out in order to avoid rib fractures is only possible with a very lengthy and expensive test method (endurance test). The aim of the study is to develop a test method that can be used to induce fatigue rib fractures in a reproducible manner under laboratory conditions, and we have developed a device that enables fast and reproducible testing of this type of failure in laboratory conditions.

Keywords: *tyre, fatigue test, rib fracture*

Dr. Kiss Zsolt Péter
főiskolai tanár
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
Közlekedéstudományi és Infotechnológia Tanszék
kiss.zsolt@nye.hu
orcid.org/0009-0007-7702-0594

Zsolt Péter Kiss, PhD
College Professor
University of Nyíregyháza
Institute of Technical and Agricultural Sciences
Department of Transport Sciences and Information Technology
kiss.zsolt@nye.hu
orcid.org/0009-0007-7702-0594

Kassai Zsolt tudományos munkatárs NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet kassai.zsolt@fvmmi.hu orcid.org/0009-0004-5076-3521	Zsolt Kassai Research Fellow NAIK Agricultural Mechanization Institute kassai.zsolt@fvmmi.hu orcid.org/0009-0004-5076-3521
Dr. Szente Márk ügyvezető igazgató NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet szente.mark@fvmmi.hu orcid.org/0009-0007-8064-6707	Márk Szente, PhD Managing Director NAIK Agricultural Mechanization Institute szente.mark@fvmmi.hu orcid.org/0009-0007-8064-6707

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 43–49. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.4

Palánkai Emese, Sarvajcz Kornél

Virtuális gyártás alkalmazása ipari gyártóegységek optimalizálására

Napjainkban a modern technológiai újítások bevezetése a cégek gyártási folyamataiba elengedhetetlen. Ennek egyik módja a virtuális komissiózás, amelyet kutatási témának választottunk. Munkánk célja egy valóságos gyártórendszer lépéseinek virtuális környezetbe ültetése a Tecnomatix Plant Simulation 3D szimulációs program felhasználásával. Ez a virtuális megoldás lehetővé teszi az adott gyártóegység egyszerű optimalizálását, a gyártás hatékonyabb és időtakarékosabb megvalósítását. A cikk ismerteti a virtuális modellezés fogalmát és alkalmazását, valamint bemutatja a szimulációs program működését és az abban elért eredményeket.

Kulcsszavak: *virtuális komissiózás, virtuális gyártás, Tecnomatix Plant Simulation, digitális iker, optimalizálás*

1. Bevezetés

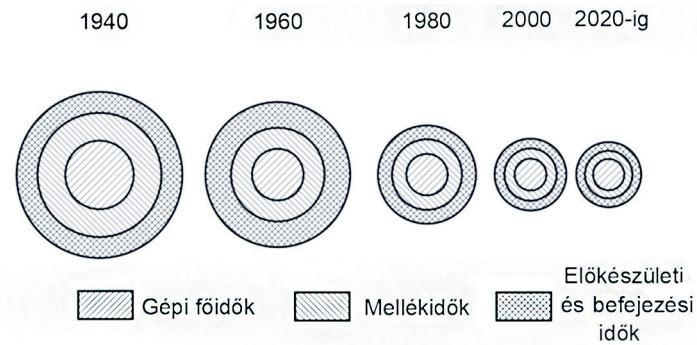
A kutatásban gyártórendszerek virtuális modellezését vizsgáljuk, amelyet az iparban több, a piacon már régóta ismert cég használ saját gyártási folyamatainak optimalizálására. Célunk a virtuális komissiózás témakörének feldolgozása, majd konkrét példákon szemléltetve bemutatni a digitális gyártás tulajdonságait, hatásait és az ehhez felhasznált programok sokszínűségét. Részletesen ismertetjük egy 3D szimulációs program, a Tecnomatix Plant Simulation működését egy valóságos gyártósor virtuális környezetbe ültetésén keresztül. Elemezzük a szimulációs programban rejlő lehetőségeket, az eddig elért eredményeket, majd kitűzzük a továbbiakban elérni kívánt célokat.

2. Virtuális komissiózás

A virtuális komissiózás az a folyamat, amelynek során a gyártást virtuális környezetben szimulálják számítógépes program segítségével a valóságos rendszer telepítése előtt. Egy gyártóegység felépítésekor az üzembe helyezés teszi ki a legidőigényesebb részfolyamatot, és jellemzően a fejlesztés késői szakaszában kerül rá sor. A rendszer hibáinak 70%-a ekkor derül ki, amelyek korrigálása számtalan munkaóra mellett hatalmas költségeket emészt fel. Ezért a virtuális gyártás alkalmazásának legfőbb funkciója a tervezési és összeszerelési hibák korai észlelése, kijavítása és a gyártási folyamat megvalósítása előtti módosítása [5].

2.1. Előzmények

A 20. században a gyártástechnológia jelentős fejlődésen ment keresztül, amelynek eredményeképp magasabb termelékenységi értékeket, jobb minőségű termékeket kaphattak a szakemberek.



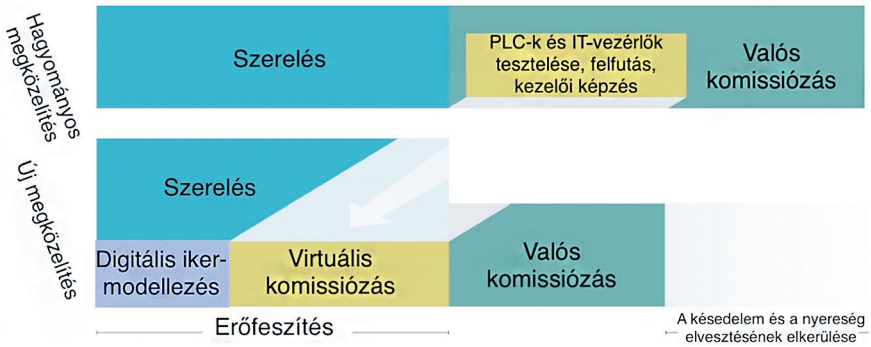
1. ábra
Egy alkatrész előállítására fordítandó időtartomány átalakulása [2]

Kezdetben a manuális kezelésű gépek működtetéséhez megfelelő szakértelemre volt szükség, így tetemes előkészületi és befejezési idővel, valamint alacsony termékmennyiséggel kellett számolni. 1952-ben készült az első szimuláció, amelyet a repülés közben adódó technikai hibák kimutatására használtak. Az évtizedek során egyre korszerűbb megoldások kerültek a piacra, általánossá vált a számítógépek alkalmazása az iparban. Az 1980-as évekre az előkészületi és a tényleges gyártási idők teljesen átalakultak, lényegesen lerövidültek.

Az utóbbi idők számottevő informatikai fejlődése és az ipar 4.0 a virtuális gyártástudomány kialakulását eredményezte. Ennek alapgondolata, hogy a piaci igényekre gyors és hatékony válasz akkor adható, ha a termék-előállítási folyamat virtuális környezetbe van integrálva. Napjainkra célirányá vált a gyártási technológiák javítása, a folyamatok optimalizálása, a termelékenység növelése, valamint a kieső idő és pénz megtakarítása (1. ábra) [2].

2.2. A virtuális komissiózás szerepe, előnyei

A virtuális gyártáshoz használt, a valós rendszert pontosan reprezentáló 3D-modellek elemei könnyen módosíthatók, tulajdonságai gyorsan változtathatók. A digitális iker segítségével a hibák kialakulásának kockázata a fejlesztési folyamat korábbi szakaszára tolódik, így a rendszer utólagos áttervezései elkerülhetők. Megtörténik a gyártás előzetes elemzése, megvizsgálják a gyártási folyamat működőképességét és hatékonyságát. Bár a megfelelő szoftver megvásárlása jelentős ráfordítással jár, ez a beruházás az elkövetkezendő években megtérül. Lényegesen redukálódnak az üzembe helyezés, a hibakeresés és az átdolgozás költségei. Amint a jövőben a gyártóegység átalakítása szükségessé válik, a szimulációs modellben tárolt nagy mennyiségű adat elősegíti a legcélravezetőbb döntéshozatalt (2. ábra) [3].



2. ábra
Gyártás virtuális komissiózással és anélkül [6]

3. Alkalmazási területek

A virtuális gyártás az iparban egyre hangsúlyosabb szerepet betöltő modern technológia, számos különböző területen hasznosítják. Legnagyobb felhasználója az autóipar, ahol a folyamatszimuláció ma már iparági sztenderdnek számít.

3.1. BMW

A BMW a világ vezető autó- és motorkerékpár-gyártója, csaknem 140 országban rendelkezik globális értékesítési hálózattal. Megújulásának motorja a legkorszerűbb technológiai megoldások kifejlesztése. A BMW Group legfrissebb eredménye, hogy olyan virtuális gyárat épített fel, amelynek a valóságos kiépítése a világon egyedülálló módon csak a modellezés után történik Magyarországon, Debrecenben. Több mint két évvel a tényleges sorozatgyártás beindítása előtt az NVIDIA Omniverse rendszerének köszönhetően már folyik a járműgyártás a virtuális környezetben. Az új létesítményben a NEUE KLASSE modelleket, azaz a BMW következő generációs, tisztán elektromos meghajtású modellgenerációját fogják előállítani.

Az NVIDIA Omniverse Enterprise segítségével a gyártás minden egyes fázisától kezdve a gépek mozgásán át a munkatársak tevékenységéig minden mozzanatot szimulációs modelltérbe ültettek. A pontos, magas színvonalú előkészítés lehetővé teszi a későbbiekben a működési hibák pillanatok alatti lokalizálását és csökkenti a hosszabb termelési leállásokat, ezért rekordhatékony gyártás érhető el. A digitalizáció hatására rugalmasabbá válik az üzem átalakítása, ezáltal a termelés villámgyorsan alkalmazkodhat a piaci igények megváltozásához. A BMW további céljai közé tartozik az NVIDIA Omniverse rendszerének kiterjesztése teljes globális gyártóhálózatára. Az üzemek összekapcsolása megkönnyíti a telephelyek közötti együttműködést, így a Föld bármely pontjáról hozzáférhetnek a szakemberek a BMW digitális tervezési világához, és valós időben dolgozhatnak együtt a folyamatok fejlesztésén.

3.2. graphIT Kft.

A graphIT Kft. 1992 óta van jelen a hazai CAD/CAM/PLM-piacon. Magyarországon a Siemens PLM nemzetközi szoftverfejlesztő céget képviseli. Szolgáltatásai között megtalálható a világszerte népszerű Solid Edge, a Teamcenter és a digitális gyártási megoldásokat tartalmazó Tecnomatix termékcsalád is.

A Siemens az ipari automatizálás vezetője. Tevékenységei között jelentős helyet foglal el a virtuális gyárral kapcsolatos koncepciók és megoldások fejlesztése. A világ egyik leginnovatívabb vállalataként hatalmas gyártókapacitással rendelkezik szinte minden földrészen, számos iparágban találkozhatunk a termékeivel. A piacon betöltött vezető szerepe abból származik, hogy a kifejlesztett technológiáit önmaga is kipróbálja és alkalmazza saját gyárában, ezzel közvetlen tapasztalatot szerezve egy-egy megoldás hatékonyságáról. Ezek alapján olyan igényeket tud megfogalmazni az újításaival kapcsolatban, amelyek még kezelhetőbbé teszik a termékeit, így tökéletesíthetőek azok. A Siemens technológiáiról, sok esetben még a kutatás-fejlesztés fázisában lévő ötleteiről a londoni Crystal Hallban álló Siemens Urban Sustainability Centre nevű bemutatóteremben nyerhetünk információt.

3.3. Aalborgi Egyetem

Bár a virtuális komissiózás számos potenciál tárháza, még mindig nem terjedt el teljesen az iparban. Ennek egyik oka lehet a használatához szükséges tapasztalatok hiánya. Dániában az Aalborgi Egyetem 2016-ban tanulói gyárat fejlesztett ki, a Smart Production Lab nevű laboratóriumot, amely megfelelő képzési platformot biztosít a kompetenciák elsajátításához.

A legmodernebb eszközökkel felszerelt laboratórium lehetőséget nyújt az egyetem hallgatóinak és kutatóinak az innovatív gyártási technológiák megismerésére. Valódi gyártási rendszerben kísérletezhetnek, tesztelhetik megoldásaikat, tervezhetnek gyártó- és összeszerelő sorokat. Nagy előnyt jelent számukra, hogy nemcsak egymással dolgozhatnak, hanem a dán iparágakkal is. A köz- és magánszektorral való szoros együttműködésnek köszönhetően a kutatási eredményeket valós ipari környezetben is próbára tehetik. Ez is bizonyítja, hogy az egyetem ténylegesen valós problémákkal és küldetésekkel foglalkozik fenntartható megoldások elérése érdekében. A kutatási projektek eredményeit mindig beépíti oktatási tevékenységébe, így képes az intézmény világszínvonalú fejlesztéseket szolgáltatni, valóságközeli képzési programokat és jövőorientált oktatást kínálni [4].

4. Tecnomatix Plant Simulation

Digitális modell létrehozásához szükség van modellalkotó környezetre, ahol a valóságos gyártóegység virtuális másolata készül 3D-modellek formájában. Kutatómunkánk során sikerült kapcsolatba lépni és együttműködni egy folyékony tisztítószerek gyártásával és csomagolásával foglalkozó céggel. Több helyszíni bejárás után egy általunk választott termékük gyártásának egyik részfolyamatát modelleztük. A digitális iker felépítéséhez a Tecnomatix Plant Simulation szimulációs programot használtuk.

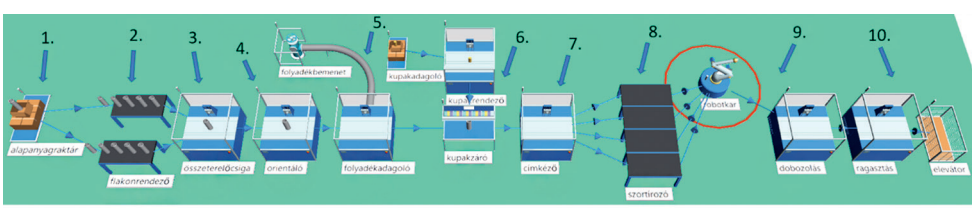
4.1. A Tecnomatix Plant Simulation működése

A Plant Simulation a Siemens Tecnomatix termékcsalád tagjaként diszkrét, eseményvezérelt folyamatszimulációs eszköz, amelyben a gyártási és logisztikai folyamatok digitális ikertestvére gyorsan összeállítható és vizsgálható. Választásunk erre a szoftverre esett, mert a tanulóbarát Siemens-termékeket egyetemünk is előszeretettel alkalmazza képzéseiben.

A program lehetővé teszi gyártórendszerek tervezését, modellezését és optimalizálását virtuális környezetben. A 3D-modellek megalkotásához nagyszámú kész alapelemet biztosít, azonban saját komponensek is készíthetők, amelyek könnyedén beemelhetők a szimulációba. A felület valósághű megjelenítést kínál a felhasználók számára, ezzel elősegíti az egyszerű tájékozódást és az áttekinthetőséget a virtuális objektumok között. Számtalan elemzőeszköz, statisztika és grafikon járul hozzá az anyagáramlás optimalizálásához, valamint a gyártóegységek és az erőforrások maximális kihasználásához. Ezen kitűnő funkciók hatására a gyártási folyamatok felgyorsulnak, a termékfejlesztés hatékonyabbá válik. A könnyen kezelhető Plant Simulation alkalmazásának köszönhetően egy cég termelékenysége javítható, mivel mind a technológiai fejlesztések kialakítása, mind a megfelelő beruházási döntések meghatározása gyorsabbá és egyszerűbbé válik [1].

5. Eredmények

A munkánk során létrehozott szimuláció a kiválasztott tisztítószer gyártásának azon részfolyamatát tartalmazza, amelyben az üres műanyag flakonok elindulnak egy futószalagon, majd különböző állomásokon keresztül eljutnak a piacképes állapotig, és megkezdődik a termékek dobozolása (3. ábra).



3. ábra
Kutatómunka során felépített szimuláció [a szerzők]

Az egyes részegységeket az alábbiakban mutatjuk be:

1. az üres flakonok az első emeletről ömlesztve érkeznek, gravitációs elven működik;
2. a szétszórt palackok két sorba rendeződnek;
3. egyetlen futószalagon egymás mögött állnak, minimalizálódik a köztük lévő távolság;
4. ez orientáló a megtöltés előkészítését szolgálja, azonos irányba fordulnak a flakonok;
5. a tartályból számos kivezetésen keresztül egyforma mennyiségű adagokkal feltöltődnek;
6. a feltekerő egység folyamatosan töltve van kupakokkal, így a gép forgás közben egyszerre több flakonra képes rácsavarni a kupakot;

7. a palackokra kerül a külső borítás, amely felveszi azok geometriai alakját;
8. egy négyutas részegységen rendeződnek, majd megkezdődik a palettázásuk;
9. egy robotkar pneumatikus megfogóval egyszerre 12 flakont helyez egy dobozba;
10. a dobozok biztonságos lezárásuk után elevátorral indulnak tovább a csomagoló-üzembe.

A termék áramlása szépen követhető, a folyamatok logikusan, a LEAN elve szerint vannak felépítve. A rendszer teljesen automatizált, a folyamat során végig szenzorok ellenőrzik a félkész termékeket. Mivel nincs szükség emberi erőforrásra, a hibák kialakulásának lehetősége kicsi, és csökken az üzemi balesetek száma is. Folyamatos gyártás zajlik, azonban a gyártósor életkorából adódóan vannak leállások, amelyeket a virtuális gyártással ki lehet küszöbölni, illetve a folyamatot optimalizálni.

6. Összegzés

A cikkben bemutatott Tecnomatix-szimuláció nagymértékben hozzájárul a kutatási projekt előrehaladásához. Mindent egybevetve elmondható, hogy sikerült a gyártási folyamatok felépítésének megértése és a szimulációs szoftver megismerése. Jelenleg a digitális modell finomhangolása történik. További célunk a virtuális folyamat tökéletesítése, majd összegyűjtött adatok alapján annak optimalizálása. Törekszünk arra, hogy munkánk eredményeképp a kiválasztott cég hasonló elven működő gyártósorainak termelése a jövőben gyorsabb legyen az általunk létrehozott szimuláció alkalmazásával.

Felhasznált irodalom

[1] GraphIT, Tecnomatix, Gyár, gyártósor és folyamat szimuláció és optimalizáció. Online: https://graphit.hu/tecnomatix/gyartasilogisztikai-folyamat-szimulacio-optimalizacio/plant-simulation/
[2] Gyurika I. G., Márton Z., Fodor D., „Digitális gyártás és kommunikációs protokollok". Online: https://moodle2.mk.uni-pannon.hu/pluginfile.php/35980/mod_resource/content/0/Digit%C3%A1lis%20gy%C3%A1rt%C3%A1s%20tananyag.pdf
[3] I. Morshedzadeh et al., „Managing Virtual Factory Artifacts in the Extended PLM Context," Journal of Industrial Information Integration, 28. évf. 100369 p. 2022. Online: https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100369
[4] S. Tram Mortensen, O. Madsen, „A Virtual Commissioning Learning Platform," Procedia Manufacturing, 23. évf. pp. 93–98. 2018. Online: https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.167
[5] T. Lechler et al., „Virtual Commissioning – Scientific Scientific Review and Exploratory use Cases in Advanced Production Systems," Procedia CIRP, 81. évf. pp. 1125–1130. 2019. Online: https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.278
[6] Xcelgo by Schneider Electric: What is Virtual Commissioning? Online: https://xcelgo.com/virtual-commissioning/

Application of Virtual Production to Optimize Industrial Production Units

Nowadays, the introduction of modern technological innovations into the production processes of companies is essential. One way to do this is virtual commissioning, which we chose as a topic of our research project. The purpose of our research is implementing the steps of a real production system in a virtual environment using the Tecnomatix Plant Simulation, which is a 3D simulation program. This virtual solution enables simple optimization of the given production unit by implementing a more efficient and time-saving production. The article describes the concept and application of virtual modelling, as well as the operation of the simulation program and the results achieved in it.

Keywords: *virtual order picking, virtual production, Tecnomatix Plant Simulation, digital twin, optimization*

Palánkai Emese hallgató Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék palankaiemese02@gmail.com orcid.org/0009-0005-0647-7306	Emese Palánkai Student University of Debrecen Faculty of Engineering Department of Mechanical Engineering palankaiemese02@gmail.com orcid.org/0009-0005-0647-7306
Sarvajcz Kornél tanársegéd Debreceni Egyetem Műszaki Kar Mechatronikai Tanszék sarvajcz@eng.unideb.hu orcid.org/0000-0002-8076-6748	Kornél Sarvajcz Assistant Lecturer University of Debrecen Faculty of Engineering Department of Mechatronics sarvajcz@eng.unideb.hu orcid.org/0000-0002-8076-6748

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 51–58. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.5

Lakatos Ernő Levente, Szigeti Ferenc, Százvai Attila

A kissorozat- és az egyedi gyártás összehangolása adott üzemben

A vizsgált üzem fémmegmunkálással foglalkozó területe 2020-ban kapott egy megkeresést, amelyben az ügyfél egy nagy méretű farönkök megmunkálására szolgáló esztergagép gyártását rendelte meg. A rönkeszterga-főorsó konstrukciójának megtervezése és gyártástechnológiájának elkészítése után azonban akadályokba ütközött a folyamat üzemi processzálása. A cikkben ezért megkíséreljük az üzem sorozatgyártásban időszakosan megjelenő, rögzített mennyiségű megrendeléseinek és az egyedileg tervezett termék gyártásának összehangolását. Ehhez az üzemben futó gyártási folyamatokat először megvizsgáljuk, modellezzük, és a gyártási kapcsolatukat szimuláljuk. Az elvégzett szimulációk eredményeit kiértékeljük, majd elvégezzük a gyártási folyamatok optimalizálását. Célunk a kísérletezés segítségével megtalálni a széria- és az egyedi gyártás hibrid módszerét, figyelembe véve az üzem aktuális lehetőségeit. Ezen túlmenően célunk az olyan hosszú távú, bevezetésre alkalmas gyártási módszer megtalálása, amely lehetővé teszi a változó paraméterű és tételszámú, kis sorozatú vagy egyedi gyártású alkatrészek folyamatos áramlását a gyártóegységek között.

Kulcsszavak: *rönkeszterga, Tecnomatix Plan Simulation, digitális iker, gyártási folyamat, optimalizálás, gyártástechnológia, lézerszkenneres vizsgálat*

1. Bevezetés

A gyártástechnológiai sorrendtervezést, művelettervezést és műveletelem-tervezést minden esetben az adaptálás, avagy posztprocesszálás követi [4]. Ez utóbbi feladata az adott gyártási környezetre való illesztése a technológiai terveknek. A múltban a fogyasztói kereslet stabilabb volt, és a vállalatok kevésbé voltak kitéve a versenynek, mint ma [6]. Ennek következménye, hogy az egyedi gyártás lehetőségét a cégeknek fent kell tartaniuk. A vizsgált üzem jellegét tekintve műhelyrendszerű gyártásra van berendezkedve, a hasonló megmunkálógépek csoportosítottan, a gyártelepen rendszerint különböző csarnokokban foglalnak helyet [2]. Ilyenek a forgácsolóműhely, a lakatosműhely, a hegesztőműhely, a szemcséző- és tisztítóműhely, a festőműhely, a lézervágó csarnok, a lángvágó csarnok. A gyártás sokáig megtartotta rugalmas jellegét, azonban az üzem gyártókapacitásának növekedése, valamint régóta visszajáró állandó megrendelői miatt egyre inkább kis és középszériás elemek jelennek meg a munkaasztalokon. Ezek az alkatrészek szerződéses megállapodások keretében készülnek, állandóan visszatérő, hétről hétre szükséges termékek. Mivel a gyártás velejárója időnként

a selejt, s megkerülhetetlen olykor a gépek szükségszerű leállítása, előre nem tervezett javítási vagy más céllal, ezért rendszerint torlódások alakulnak ki a gyártásban. Ezek közösen vezetnek ahhoz, hogy az egyedi alkatrészek, termékek gyártása nehezebben illeszthető be a gyártási folyamatba.

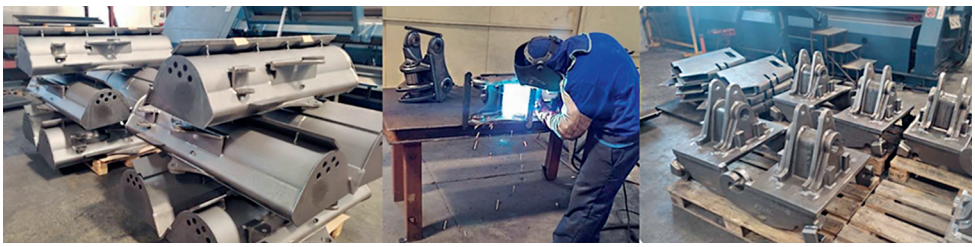
A prioritást a folyamatos megrendelésből adódó sériagyártás élvezi, így számos egyedi alkatrészre időközben nem jut idő. Ez sem az ügyfél szempontjából nem előnyös, akinek többet kell várnia megrendelése teljesítésére, sem a cég részéről, hiszen az időközben elkallódott egyedi, hiányzó alkatrészeket újra kell gyártani. Az is előfordulhat, hogy a már legyártott egyedi alkatrész egyszerűen a raktárban porosodik, és értékes helyet foglal el más termékek elől, mert további feldolgozása vagy beépítése várat magára.

A fent említett probléma megoldási javaslatának kidolgozása előtt meg kellett vizsgálnunk az időszakosan visszatérő gyártmányokat, azok gépigényét, gyártási folyamataik terjedelmét és munkaállomások közötti eloszlását. Három visszatérő gyártmányt választottunk ahhoz, hogy velük együtt modellezhessük az egyedi gyártású rönkeszterga-főorsó gyártási folyamatát. A vizsgálatok menete minden esetben a következő volt:

- a dokumentációk összegyűjtése és értelmezése;
- a gyártási folyamat nyomon követése és adatainak feljegyzése;
- a folyamat technológiai lépéseinek táblázatba foglalása;
- a folyamat Tecnomatix Plant Simulation 2021-es programban való modellezése;
- a modell értékelése, az optimalizálási lehetőségek vizsgálata.

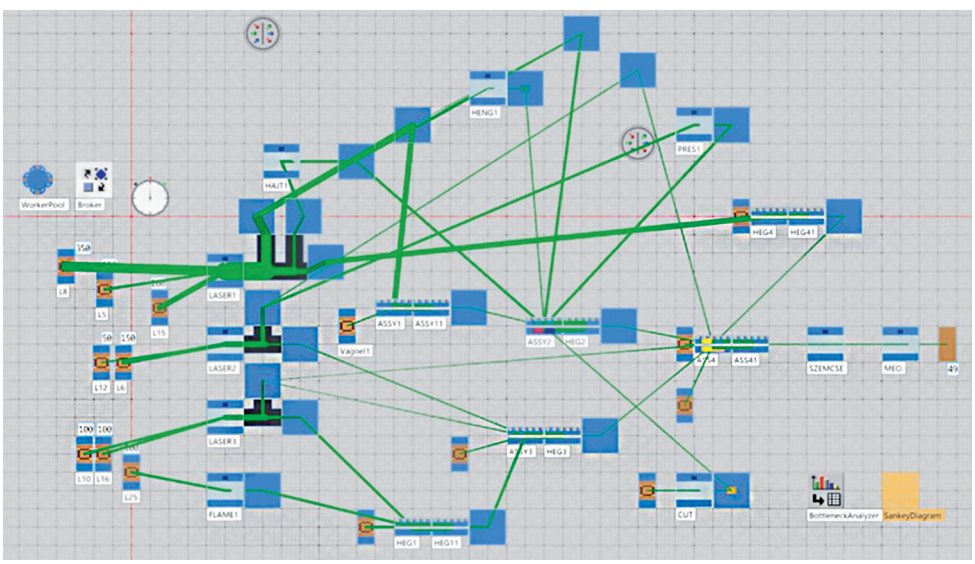
2. Visszatérő gyártmányok folyamatmodelljei

A digitális gyár szimulációs technikák alkalmazását jelenti a gyártási folyamatok és rendszerek tervezésére és optimalizálására [3]. A digitális gyár koncepciója lehetővé teszi a teljes gyártási rendszer tervezését, kiértékelését, monitorozását és vezérlését 3D-szimuláció segítségével, amelyben virtuális 3D-elrendezést hozunk létre a valós létesítmény reprezentálására [1]. A vizsgálat során objektumorientált anyagáram-szimulátort használtunk a folyamatok modellezésére [5]. A visszatérő jelzőt azokra a megrendelésekre használják az üzemek, amelyek gyártására minden héten rendszeresen szükség van bizonyos darabszámig. Ezek közül azokat választottuk a vizsgálatra, amelyek érintik azokat a munkaállomásokat, amelyekre a főorsó gyártásához is szükségünk van. Továbbá figyelembe vettük azt is, hogy van-e olyan zavaró tényező benne, amely esetleg zavarja a többi gyártási folyamat gördülékenységét, volt-e már többször csúszásban a gyártása. Ezek alapján három jellemző gyártmányt választottunk ki. A TDA-kanalat, az SM-pivotot és az SFC-pivotot (1. ábra). A TDA egy markolókanál markológépekhez, a pivotok pedig hasonló kanalakra erősített felfogatófejek, amelyeken keresztül megtörténik a markolókar és -kanál összekapcsolása. Az SM kötött kivitel, oldása csak szereléssel történhet, az SCF pedig képes a munka helyszínén történő gyors öncsatlakoztatásra és önkioldásra is.



1. ábra
TDA-kanál, SM-pivot és SFC-pivot [a szerzők]

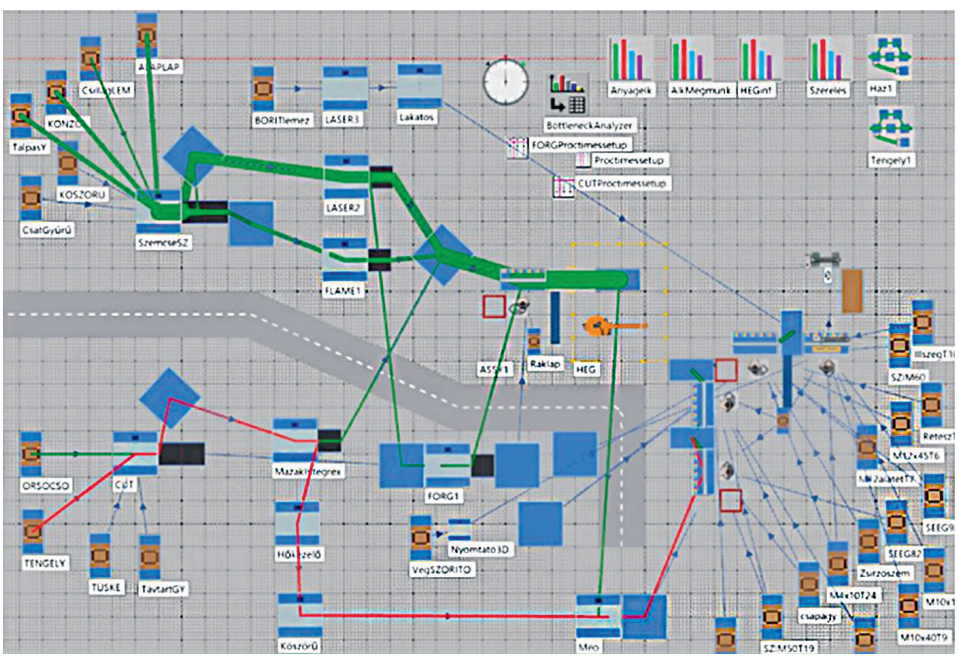
Mindhárom gyártmány esetében először elkészítettük a szükséges alkatrészek darabjegyzékét, aztán műveleti sorrendjüket. Ezek mintájára készült három különálló folyamatmodell, amelyek munkaállomásait a sorrendterv munkaciklusainak megfelelően állítottuk be. Ezeket a modelleket vizsgálva megállapítottuk, hogy melyek a kritikus műveletek a jelenlegi gyártási folyamat során, meghatároztuk, hogy az adott munkaállomás milyen várakozási és blokkolt százalékos idővel üzemel. A modellezés különböző verziói vagy a munkafolyamatok felépítését (2. ábra) vagy az állomások hatásfokát, indulásának szükséges idejét vizsgálták. A fennakadásmentes üzemeltetésben nagy szerepet kapott a munkaállomások közötti pufferek nagysága. Ezek a valóságban a félkészen raklapozott, rövid ideig várakoztatott alkatrészkészletek voltak.



2. ábra
A TDA-kanál műveleteinek felépítése a gyártási folyamatban [a szerzők]

2.1. A főorsó gyártási folyamatmodellje

A főorsó folyamatmodellje szintén külön környezetben készült el, pedig az első elképzelések alapján nem ez volt a terv. Ennek oka az, hogy a program diákverziója nem enged 80-nál több objektumot elhelyezni egy területen. A probléma felbukkanásakor interfészekkel próbáltunk bizonyos megmunkáló egységeket összevonni, és alprogramokból behívni. Ezeket azonban a főfelülethez csatlakozásuk miatt ugyanúgy figyelembe vettük a határérték számításakor. Így az 1 modell helyett a 4 folyamatmodell elemzésén alapuló Microsoft Project környezeti elemzés jelentett megoldást. A modell sajátossága még (amely egyébként a valós alkatrészek kinézetével megegyező objektumokkal szimulál), hogy nem az alkatrészek súlyozott átlagidejével számol. A *„process time setup"*-ok táblázatba foglalják az egyes alkatrészek bizonyos gépeken való megmunkálási idejét. Ezt behívva a gép mindig változó időértékkel dolgozik, így folyamatában is értelmessé válik a vizsgálat, nemcsak végállapotában [5]. A folyamatmodell 3. ábrán látható felülnézeti képén jól kivehetők az állomások összekapcsolására szolgáló kék színű útvonalak. Ezeken kívül a futószalagok is részei még a darabátadásnak. Ezek azért nem a hagyományos *line*-bekötéssel kapcsolódnak a következő munkaállomáshoz, mert kiválasztást végeznek szenzorok segítségével. A szenzorok kódja egyszerű, MU-attribútumok (a mozgó munkadarab tulajdonságai) megadott feltétellel való egyezése esetén *„.move"* paranccsal helyezik át az egyes elemeket. Ezzel a módszerrel nemcsak egy elágazás helyét spóroltuk meg a rendszerben, hanem a megfelelő munkadarabokat csoportosíthattuk is a későbbi állomás számára. Így az összeszerelő állomásokat már nem szükséges MU-attribútumhoz kötni, elég csak az útvonalon átengedett egységnyi szükséges mennyiséget meghatározni.

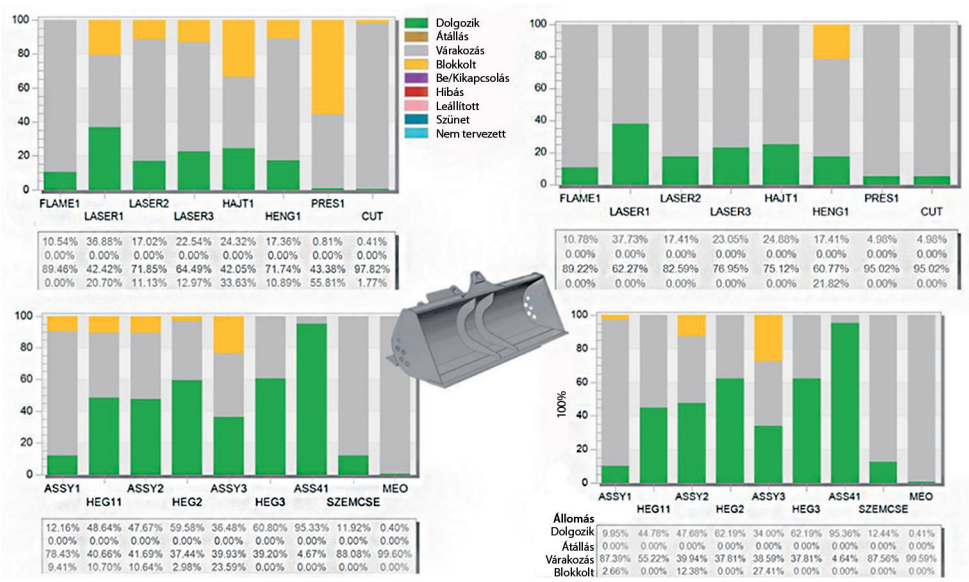


3. ábra
A főorsó folyamatmodellje [a szerzők]

A 3. ábrán kiemeltünk két vizsgált útvonalat. Az egyik a zöld színű, amely az orsóház készre munkálását, a másik, a piros színű pedig a főorsó megmunkálását szemlélteti. A vizsgálat során az orsóház folyamata jelentősebbnek tűnhet, teljes megmunkálási ideje kevesebb, mint a főorsónak. Ezért bizonyos esetben célszerűbb is lehet a főorsóval kezdeni. Ha a gyártásban leterhelt az összeállító üzem, akkor akár egy műszakkal korábban is elkészíthető az orsócső és a főorsó.

3. Vizsgálati eredmények

Az üzemvizsgálatok eredményeit legegyszerűbben a folyamatelemek diagramjai segítségével lehet áttekinteni. Először mindig kontrollvizsgálat futott le. Ennek eredménye alapján kiválasztottuk a fennakadásokat, késéseket, ütközéseket produkáló útvonalakat, ezeket optimalizáltuk, majd újra lefuttattuk a vizsgálatot. Ezt ismételtük, minden alkalommal elvégeztük, míg kedvező eredményre nem jutottunk. A blokkolások ellen a raklapon való tárolás helyett kalodás megoldást vettünk alapul. Ez a rendszerezett tárolás az összeállítási műveletek idején is pozitív, 0,5–1,5 min intervallumon belüli javulásokat eredményezett állomásonként. A 4. ábrán látható bal oldali oszlop a jelenleg is használatban lévő folyamatot mutatja be, míg a jobb oldali az általunk optimalizált folyamatot. A sárga blokkolt állások jól láthatóan jelentős csökkenést mutatnak, míg az összeállítási blokkolt állapotok kismértékben növekedtek. Ennek magyarázata, hogy az összeállítás mögött elhelyezkedő hegesztési munkaállomás rendelkezik puffertárral, de az összeillesztett előgyártmányok várakoztatása a hegesztőblokk előtti elrendezésből adódóan nem megoldható. Ezért függ ennyire élesen az összeillesztés az azt követő hegesztéstől.



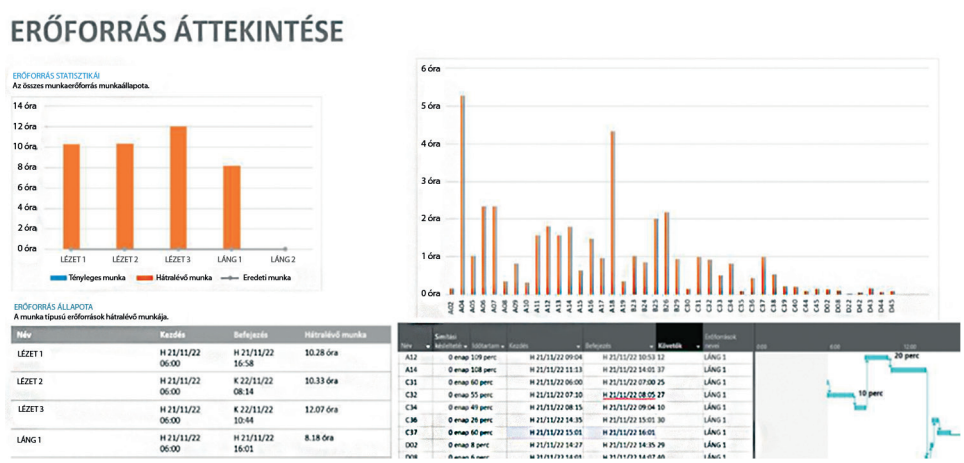
4. ábra
A TDA-kanál gyártásának szimulációs eredménye és optimalizálása [a szerzők]

A három visszatérő folyamatmodellből összesítve az óránként legyártható névleges egységérték minden esetben nőtt, ez műszakonként az SM-pivot esetében még egy darabot jelentett az optimalizálások után. Az átfutási idő alatt azt az időt értjük, míg a folyamat első lépésének megtételétől a kész gyártmány végig nem ér a teljes gyártási folyamaton [2]. Ezek az átfutási idők a TDA esetében 5 min-et, az SM-pivot esetében 3 min-et, az SFC-pivot esetében pedig 20 min-et csökkentek. Így a végleges heti gyártott mennyiség tekintetében 45, 88 és 27 min időmegtakarítást lehet megfigyelni.

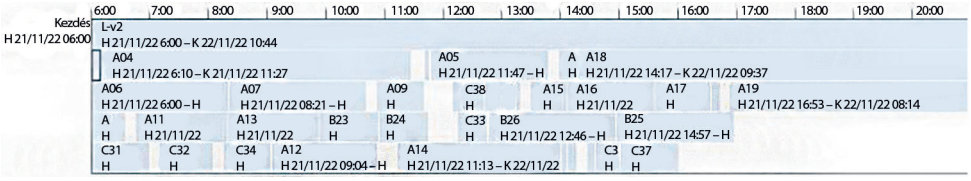
3.1. Gantt-alapú projektfelület

A szimulációk eredményeit a név, a munka időtartama, a kezdés időpontja, a követő folyamatok és a felhasznált erőforrások alapján táblázatba foglaltuk (5. ábra). Mivel a Tecnomatix Plant Simulation program arra is lehetőséget ad, hogy a szimulációk jellemzőit és értékeit ilyen formátumba kimentsük, így az automatikus adatbekérés egy Gantt-formátumot kezelő program számára könnyen kivitelezhetővé válik.

Ha a táblázat eredményei automatikusan Gantt-diagramon jelennek meg (amely nemcsak vizualizálja a folyamatot, de annak állapotáról és a közte beiktatott szünetekről is jelentést tesz), akkor erőforrásokra szűrve olyan ütemlista készíthető, amelyen jól láthatóvá és kezelhetővé válnak a munkafolyamatok idő- és gépskálán beosztva. Az így kapott lista bármelyik eleme rugalmasan elcsúsztatható, blokkokká rendezhető, réseibe új munkák iktathatók. Példaképpen a 6. ábrán bemutatjuk a lemezvágó gépek csoportjára bontott ütemlistát. A műszakok és a munkavégzési szünetek itt nincsenek figyelembe véve, csak a táblacsere és az ebédszünet. A munkavégzés időpontjait meghatározó keret könnyen felülírható műszaknaptár-táblázat csatolásával.



5. ábra
Microsoft Project 2019-alapú Gantt-diagramos erőforrás-kezelés áttekintése [a szerzők]



6. ábra
TDA-SM-SFC-főorsó lézer- és lángvágókra készített ütemlistája [a szerzők]

4. Összefoglalás

A cikkben elvégeztük adott üzem sorozatgyártásban megjelenő, rögzített mennyiségű megrendeléseinek és az egyedileg tervezett termék gyártásának összehangolását. Ehhez megvizsgáltuk az üzem rendelkezésre álló erőforrásait, és feltérképeztük a visszatérő folyamatokat három mintagyártmány esetében. Ezeket modellezve szimulációkat tudtunk készíteni, amelyeket értékeltünk és optimalizáltunk. Ezt követően folyamatszimulációt készítettünk az egyedi gyártmányként szereplő főorsóhoz is, és az összegyűjtött adatokat Gantt-diagram-alapú programban egyesítettük egymással a diákverziós program korlátai miatt. Az elért eredmények alapján kidolgozható olyan kártyás folyamatrendszer, amely lehetővé tenné a gyártási folyamat állapotának nyomon követését, a folyamat rendszeres ellenőrzését.

Felhasznált irodalom

[1] A. Carrie, „Simulation of Manufacturing Systems," New York, Amerikai Egyesült Államok: John Wiley & Sons, 1988.
[2] Dudás I., Cser I., „Gyártástechnológia IV. Gyártórendszerek tervezése," Egyetemi tankönyv, Miskolc, Magyarország: Miskolci Egyetemi, 2003.
[3] M. Gregor et al., „Digital Factory," Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems, 3. évf. 3. sz. pp. 123–132. 2013.
[4] P. Centobelli et al., „Layout and Material Flow Optimization in Digital Factory," Nápoly, Olaszország: Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering, 2016, pp. 223–235. Online: https://doi.org/10.2507/IJSIMM15(2)3.327
[5] Plant Simulation Help 2021.
[6] S. Chambers, „Flexibility in the Context of Manufacturing Strategy," in Manufacturing Strategy: Process and Content, C. Voss szerk. London, Egyesült Királyság: Chapman & Hall, 1992, pp. 283–295.

Coordination of Series and Individual Production in a Given Plant

The metal machining department of the examined facility received a request in 2020, in which the client ordered the manufacturing of a lathe machine for machining large-sized logs. However, obstacles were encountered in the operational processing of the workflow after designing the main

spindle of the log lathe and developing its manufacturing technology. In this thesis, we attempt to synchronize the periodically appearing fixed-quantity orders in the facility's mass production with the production of individually designed products. To achieve this, we first examine, model, and simulate the manufacturing processes running in the facility, including their interconnections. The results of the conducted simulations are evaluated, and the manufacturing processes are optimized. Our goal is to experimentally find a hybrid method combining mass production and custom production, considering the current capabilities of the facility. Additionally, our aim is to discover a long-term, implementable manufacturing method that allows for the continuous flow of variable-parameter and small-batch or custom-made components between production units.

Keywords: *log lathe, Technomatix Plan Simulation, digital twin, manufacturing process, optimization, manufacturing technology, laser scanner inspection*

Lakatos Ernő Levente gépészmérnök Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék lakatoserno9927@gmail.com orcid.org/0009-0003-7973-1796	Ernő Levente Lakatos Mechanical Engineer University of Nyíregyháza Institute of Technical and Agricultural Sciences Department of Technical Foundation, Physics and Mechanical Engineering Technology lakatoserno9927@gmail.com orcid.org/0009-0003-7973-1796
Dr. Szigeti Ferenc mb. intézetigazgató tanszékvezető Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék szigeti.ferenc@nye.hu orcid.org/0009-0007-0662-5043	Ferenc Szigeti, PhD Commissioned Director of Institute Head of Department University of Nyíregyháza Institute of Technical and Agricultural Sciences Department of Technical Foundation, Physics and Mechanical Engineering Technology szigeti.ferenc@nye.hu orcid.org/0009-0007-0662-5043
Százvai Attila műszaki oktató Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék szazvai.attila@nye.hu orcid.org/0009-0002-7915-2850	Attila Százvai Mechanical Instructor University of Nyíregyháza Institute of Technical and Agricultural Sciences Department of Technical Foundation, Physics and Mechanical Engineering Technology szazvai.attila@nye.hu orcid.org/0009-0002-7915-2850

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 59–65. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.6

Fazekas Csaba, Szigeti Ferenc

A hegesztési sebesség varrattulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata S355 típusú acél hegesztésénél

Hegesztett kötéseket készítettünk ömlesztő hegesztőeljárással a hídszerkezetek gyártásában gyakran alkalmazott S355J2+N Z15 ötvözetlen acéllemez felhasználásával annak vizsgálatára, hogy az MSZ EN ISO 15614-1 szabványban előírt hőbeviteli értékektől való eltérés milyen mértékben változtatja meg a hegesztett kötések tulajdonságait. A hegesztett kötéseken roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatokat végeztünk. A hőbevitel jelentős változtatása legnagyobb mértékben a hegesztett kötés keménység- és ütőmunkaértékeit befolyásolta. A vizsgálati eredmények és a kísérleti tapasztalatok hozzájárulhatnak a vizsgált típusú és lemezvastagságú acélok helyes hegesztéstechnológiájának kidolgozásához, valamint a gyártás során keletkező hegesztési hibák csökkentéséhez.

Kulcsszavak: *hegesztési sebesség, fajlagos hőbevitel, hegesztett kötések mechanikai vizsgálata, a hőhatásövezet keménysége és ütőmunkája*

1. Bevezetés

Az MSZ EN ISO 15614-1 szabványban [2] rögzített követelmény acéllemezek hegesztésekor a korlátozott hőbevitel. Eszerint ütőmunka-követelmény esetén a hegesztéskor alkalmazott hőbevitel felső határa 25%-kal lehet nagyobb, keménységi előíráskor pedig a hőbevitel alsó határa 25%-kal lehet kisebb, mint a próbahegesztésnél korábban alkalmazott érték. Nem automatikus hegesztési eljárások alkalmazásakor a hőbevitel értékét meghatározó tényezők közül a legbizonytalanabb a hegesztési sebesség, mert az gyakran a hegesztő tapasztalatára van bízva, ellenőrzése nagyon nehéz és körülményes. Ilyen esetben a hegesztő megfelelő tapasztalata hiányában elképzelhető, hogy olyan hegesztett varrat készül (az előírt hegesztési sebességtartományok, például termelékenységi követelmények miatti jelentős változtatás következtében), amely a legszigorúbb üzemi roncsolásmentes anyagvizsgálatok (VT, PT, UT, RT) során sem mutat hibát. Mégis a roncsolásos anyagvizsgálatokkal kimutatható mechanikai tulajdonságok olyan mértékben megváltozhatnak, hogy már nem felelnek meg az előírt követelményeknek egy ellenőrző vizsgálat során. Kísérleteink során a szabványban előírt hőbevitelt jelentősen megváltoztatva készítettünk munkapróbákat, amelyeken roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgálatokat végeztünk. Vizsgálataink célja a különböző hőbevitellel

elkészített varratok közötti, elsősorban mechanikai tulajdonságbeli különbségek feltárása a helyes hegesztéstechnológia kidolgozása, illetve a gyártás során keletkező hegesztési hibák csökkentése érdekében.

2. Kísérleti körülmények, vizsgálati módszer

A hegesztett kötések készítéséhez MSZ EN ISO 15614-1 szerinti, Lv30 × 150 × 700 mm-es szabványos próbatesteket készítettünk, mindkét fél munkadarab 30°-os leélezésével, 1 mm-es élszalaggal, amelyeket V-varrattal kötöttünk össze. A hegesztést megelőzően gondos felülettisztítást végeztünk. Összeállításkor fűzővarratokat készítettünk a munkapróbák két végén kb. 80 mm hosszúságban, ügyelve az élszalagok párhuzamosságára és a (p)WPS-ekben szereplő 6 mm-es illesztési hézag pontos betartására. A jelentős hőbevitel által okozott szögzsugorodás csökkentése érdekében a munkapróbák mindkét végétől számítva 200 mm távolságra, munkapróbánként 2 db, a varratnál kivágott, később eltávolított merevítőbordát hegesztettünk fel a bordák mindkét végén 50 mm hosszan a5-ös méretű sarokvarrattal (1. ábra). A gyökoldalon kerámiamegtámasztást alkalmaztunk.

1. ábra
Az alakváltozás csökkentése merevítőbordákkal [a szerzők]

Előkészítés és összeállítás után a munkadarabok felületén kicsapódott párát (40 °C-os előmelegítéssel) eltávolítottuk. A hegesztési kísérletek során a gyöksort fogyóelektródás aktív védőgázas kézi ívhegesztéssel (135) készítettük, a töltő- és takarósorokat fedett ívű (121) eljárással. Kézi hegesztéshez Fronius TransSteel 5000 Syn, míg fedett ívű hegesztéshez ESAB LAF635 típusú hegesztő áramforrást használtunk.

A hegesztési paraméterek meghatározásánál a viszonyítási alapul szolgáló próbatest (P1) hegesztésénél az MCE Nyíregyháza Kft.-nél a gyakorlatban is alkalmazott eljárásvizsgálat paramétereit használtuk. A normál paraméterekkel hegesztett munkapróbák készítésekor bevitt hő meghatározása az MSZ EN ISO 15614-1-nek megfelelően az alábbi képlettel történt [1], [4]:

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3}\ \mathrm{kJ/mm} \qquad (1)$$

ahol:

- k – a hegesztési eljárás termikus hatásfoka: 0,6–1;
- 135 – fogyóelektródás kézi ívhegesztésnél (aktív védőgázzal): 0,8;
- 121 – fedett ívű hegesztésnél (huzalelektródával): 1;
- U – ívfeszültség (V);
- I – hegesztőáram (A);
- v – hegesztési sebesség (mm/s).

Túlzottan alacsony hőbevitel esetén a varrat és a hőhatásövezet felkeményedhet, a túlzottan magas hőbevitel hatására pedig a varrat és a hőhatásövezet szívóssága romolhat [3], ez magyarázza az MSZ EN ISO 15614-1 szabványban a hőbevitel alsó és felső határától való eltérés ±25%-kal történő korlátozását. A különböző munkapróbák hőbeviteleinek meghatározásakor az MSZ EN ISO 15614-1 által megengedett maximum 25%-os eltérést akartuk meghaladni, így a (P1) hőbeviteléhez képest 50%-os hőbevitel-növelést tűztünk ki célul.

A lassú, nagy hőbevitelű próba (P2) fajlagos hőbevitelének meghatározásakor a P1 (normál haladási sebességű) próba fajlagos hőbeviteli tartományainak a legnagyobb értékét vettük alapul, majd ehhez képest határoztuk meg a célul kitűzött 150%-os értékeket. A gyors, kis hőbevitellel hegesztett próba (P3) esetén a normálnak tekintett tartományok legkisebb megengedett fajlagos hőbeviteli értékeiből (a P1 hőbeviteli értékei) számítottuk ki az 50%-ot meg nem haladó értékeket. A kis és nagy hőbevitelű munkapróbák hegesztési sebességének (v) meghatározása az (1) egyenletből történt. A nagy hőbevitelű munkapróba esetén csak a maximális hegesztési sebességet számoltuk ki, amely az előzőekben meghatározott minimális fajlagos hőbeviteli érték eléréséhez szükséges. A kis hőbevitelű próba esetén pedig csak a minimális sebességet határoztuk meg, hogy a célul kitűzött alacsony hőbeviteli értékeket tartani tudjuk.

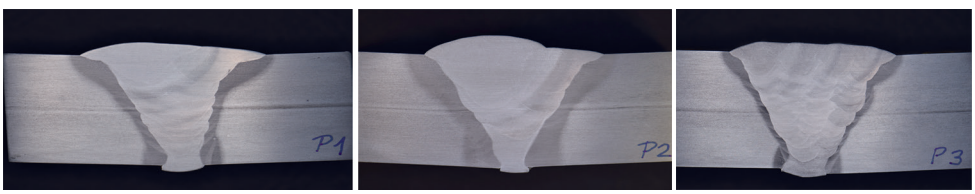
A hegesztett kötések elkészítése után a számított paramétereket a hegesztési kísérletek tapasztalatai alapján kis mértékben megváltoztattuk, valós paraméterek szerint módosítottuk, majd ezek alapján számítottuk ki a tényleges fajlagos hőbevitel értékeit és azok eltérését a tervezett normál hegesztési sebességű fajlagos hőbevitelhez képest (1. táblázat).

1. táblázat
Valós hegesztési paraméterek [a szerzők]

A próbatest jele	Varratsor	I [A]	U [V]	Huzalelőtolási seb. [m/min]	Hegesztési sebesség (beállított) [mm/min]	Hőbevitel [kJ/mm] WPS szerint	Számított hőbevitel (beállított értékből) [kJ/mm]	Hőbevitel-eltérés (a normálhoz képest) [%]
P1 (normál)	gyök	260	26,5	8,2	154,5	1,81–3,88	2,14	–
	töltő	500	29	–	450	1,61–2,26	1,93	–
	takaró	535	30	–	350	2,38–3,54	2,75	–
P2 (lassú)	gyök	278	26,5	9	69,9	5,82 ≤	5,06	+30%
	töltő	500	29	–	230	3,39 ≤	3,78	+67%
	takaró	535	30	–	160	5,32 ≤	6,02	+70%
P3 (gyors)	gyök	278	26,5	9	191,5	≤ 0,9	1,85	–
	töltő	500	29	–	1150	≤ 0,8	0,76	–52%
	takaró	535	30	–	840	≤ 1,19	1,15	–51%

3. Vizsgálati eredmények

A roncsolásmentes anyagvizsgálatok alapján (szemrevételezéses, VT; mágnesporos, MT; ultrahangos, UT; röntgen, RT) valamennyi varrat megfelelt. *A roncsolásos vizsgálatokhoz* a próbatestek kimunkálása az MSZ EN ISO 15614-1 szerint történt. A *keresztirányú szakítóvizsgálat* (MSZ EN ISO 4136:2022) eredménye minden próbatest esetén megfelelt, a szakítószilárdság az előírt tartományon belül volt, minden vizsgálati próbatest az alapanyagban szakadt. A *makrovizsgálatok* (MSZ EN ISO 4136:2022) minden próbatestnél megfelelő beolvadást mutattak. A 2. ábrán a makrocsiszolatokon jól látható, hogy a nagy hegesztési sebességgel (P3) való hegesztéskor a varratsorok száma jelentősen megnőtt, illetve a hőhatásövezet jelentősen lecsökkent. A kis haladási sebességnél (P2) a varratsorok száma csökkent, viszont a hőhatásövezet lényegesen szélesebb lett. Ez különösen a varrat középvonalában és a koronaoldalon látványos.

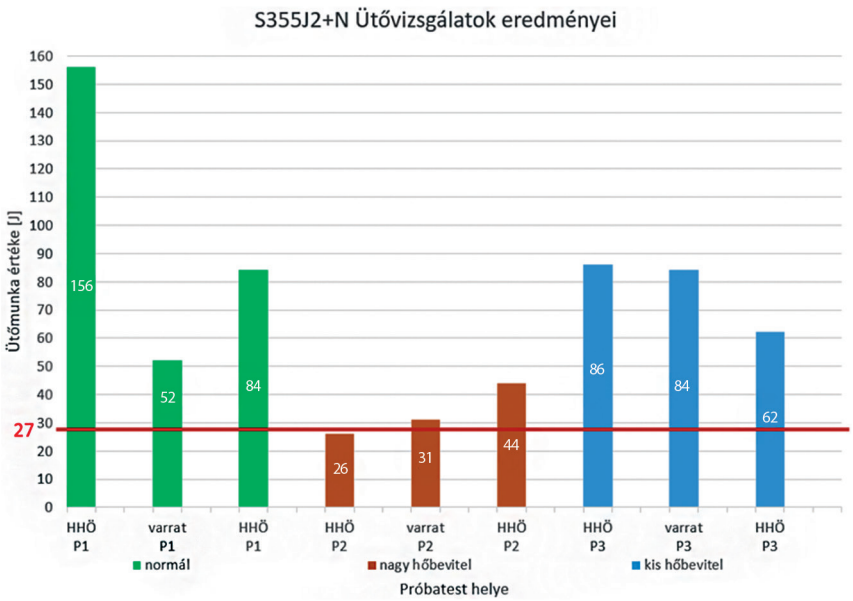


2. ábra
A P1, a P2 és a P3 jelű próbatestek makrocsiszolata [a szerzők]

Az MSZ EN ISO 9015-1:2011 szabvány szerint elvégzett *HV10 keménységmérés* szerint minden próbatest esetén a varratban és a hőhatásövezetben mért keménységi értékek az S355J2+N anyagminőség 1.2-es anyagcsoportjára vonatkozó maximális 320 HV10 keménységi értéket nem haladták meg. A koronaoldalon és a kötés középvonalában ugyan valamivel nagyobb keménységi értéket mértünk a kis hőbevitelű próbatestnél, de az eltérés nem számottevő. A gyökoldalon jól látszik a várakozásoknak megfelelő keményedés a kis hőbevitellel készített munkapróbák esetén. Az értékek azonban itt sem haladták meg a szabványban előírt értéket, de szigorúbb előírások esetén mindenféleképpen figyelni kell erre. A legnagyobb keménységnövekedést a kézzel készített gyöksornál tapasztaltuk. A varrat és a hőhatásövezet szívósságát mérő *ütővizsgálatokat* az MSZ EN ISO 9016:2022 szabvány szerint hajtottuk végre, –20 °C-os, a szabvány által előírt helyeken a varratból és a hőhatásövezetből kimunkált 10 × 10 mm-es próbatesteken, majd a mérések átlagértékeit diagramban ábrázoltuk (3. ábra).

A 3. ábrán bejelöltük a hegesztett alapanyagra előírt minimális 27 J ütőmunkaértéket. Az ábrán jól látszik, hogy a P2-es, nagy hőbevitelű próba egyik hőhatásövezetbeli ütőmunkája nem érte el az előírt 27 J ütőmunkaértéket. Így ezek alapján kijelenthető, hogy a vizsgált kis haladási sebességből adódó nagy fajlagos hőbeviteli érték jelentős mértékű szemcsedurvulást, elridegedést okoz a hegesztett kötés hőhatásövezetében (megfigyeléseink alapján a P2-es próbatestek ridegen törtek, képlékeny alakváltozás, nyúlás jelét szinte egyáltalán nem mutatva). A nagy hegesztési sebességgel készített (P3 jelű) varrat közel azonos értékeket

mutatott az ütővizsgálatok során, mint a normál paraméterekkel hegesztett, viszonyítási alapul szolgáló P1-es munkapróba. A P1-es és a P3-as jelű ütőmunka-próbatestek töretei szívós töret képét mutatták, látszott rajtuk a törést megelőző képlékeny alakváltozás, illetve nyúlás.



3. ábra
A P1, a P2 és a P3 jelű próbatestek ütővizsgálatainak átlageredményei [a szerzők]

4. Összefoglalás

Hegesztett kötéseket készítettünk ömlesztő hegesztőeljárással annak vizsgálatára, hogy a vonatkozó szabványban előírt hőbeviteli értékektől való eltérés milyen mértékben változtatja meg a hegesztett kötések tulajdonságait. A hegesztett kötéseken végzett roncsolásmentes vizsgálatok nem mutattak eltérést. A hőbevitel változtatása a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságaira gyakorolt jelentős hatást, legnagyobb mértékben a hegesztett kötés keménység- és ütőmunkaértékei változtak. A nagy hőbevitelű munkapróbákból kimunkált próbatestek ütőmunkaértékei radikálisan csökkentek, a hőhatásövezetbeli ütőmunka több esetben nem érte el az előírt értéket. A hegesztett kötések keménységvizsgálata során mért eredmények már nem mutattak ekkora eltérést. A kis hőbevitelű próbatestnél koronaoldalon és a kötés középvonalában ugyan valamivel nagyobb keménységi értékeket mértünk, de az eltérés nem számottevő, a mért értékek egyik esetben sem haladták meg a szabványban 320 HV10-re korlátozott értéket. A legnagyobb keménységi eltérés a kézzel készített gyöksornál volt mérhető, ezért hasznos lenne még egy, csak kézi hegesztéssel készített kísérlet elvégzése is. A vizsgálati eredmények és a kísérleti tapasztalatok hozzájárulhatnak a vizsgált típusú

és lemezvastagságú acélok helyes hegesztéstechnológiájának kidolgozásához. A hőbevitel jelentős változtatása esetén, a hegesztési paraméterek véglegesítése előtt javasolt a hegesztett kötés ütőmunkájának és keménységének ellenőrzése.

Felhasznált irodalom

[1] MSZ EN 1011-1 Hegesztés. Ajánlások fémek hegesztéséhez – 19. Hőbevitel, 11. p.
[2] MSZ EN ISO 15614-1:2004 – Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata – 1. rész: Acélok ív és gázhegesztése.
[3] Komócsin M., „Nagyszilárdságú acélok és hegeszthetőségük," Hegesztéstechnika, 1. sz. 2002.
[4] Szunyogh L., „Hegesztés és rokon technológiák," Budapest, Magyarország: Gépipari Tudományos Egyesület, 2007.

Investigation of the Effect of Welding Speed on Weld Properties When Welding S355 Steel

Welded joints were made by a bulk welding process using S355J2+N Z15 non-alloy steel plate, commonly used in the construction of bridge structures, to investigate the extent to which deviations from the thermal loading values specified in MSZ EN ISO 15614-1 alter the properties of the welded joints. Welded joints were subjected to destructive and non-destructive tests. A significant variation in the heat input had the greatest effect on the hardness and impact values of the welded joint. The test results and experimental experience may contribute to the development of correct welding techniques for the tested types and le-field thicknesses of steels and to the reduction of welding defects during fabrication.

Keywords: *welding speed, specific heat input, mechanical testing of welded joints, hardness and impact work of the heat affected zone*

Fazekas Csaba
gépészmérnök
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
Műszaki Alapozó, Fizika
és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék
f.csaba120@gmail.com
orcid.org/0009-0002-3350-6051

Csaba Fazekas
Mechanical Engineer
University of Nyíregyháza
Institute of Technical and Agricultural Sciences
Department of Technical Foundation, Physics
and Mechanical Engineering Technology
f.csaba120@gmail.com
orcid.org/0009-0002-3350-6051

Dr. Szigeti Ferenc	Ferenc Szigeti, PhD
mb. intézetigazgató	Commissioned Director of Institute
tanszékvezető	Head of Department
Nyíregyházi Egyetem	University of Nyíregyháza
Műszaki és Agrártudományi Intézet	Institute of Technical and Agricultural Sciences
Műszaki Alapozó, Fizika	Department of Technical Foundation, Physics
és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék	and Mechanical Engineering Technology
szigeti.ferenc@nye.hu	szigeti.ferenc@nye.hu
orcid.org/0009-0007-0662-5043	orcid.org/0009-0007-0662-5043

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 67–77. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.7

Csurgai József, Szilvássy László, Jámbor Krisztián

Légisugár-fejlesztésünk rögös útja

Egy előző cikk keretében [1] már szó volt egy, a TKP2021-NVA-16 pályázat keretében kialakítandó légi sugárfelderítő, drónra szerelhető szenzormodul fejlesztéséről. Itt, jelen cikkben valójában szeretnénk a teljesség igénye nélkül képet adni arról, hogy az elméleti kutatások után, a megvalósulás útjára lépett fejlesztés során hol tartunk, milyen feladatokat valósítottunk meg, és mi szükséges még az eredménytermék „asztalra tevéséhez". Mivel az előző cikk már tartalmazza a kutatások elméleti hátterét, és jelen cikk annak a folytatása, ezért itt mellőzzük az amúgy fontos szakirodalmi áttekintést és a téma részletes felvezetését, vagyis „in medias res" közöljük fejlesztésünk gyakorlati stádiumának helyzetét.

Kulcsszavak: *légi sugárfelderítés, radioszenzoros*[1] *modul, sugárhelyzet-felmérés*

1. Bevezetés

Folytatva a fenti gondolatot talán próbáljuk meg olyan szemszögből megközelíteni az aktuális kutatást, hogy mi az, ami az előző cikkben [1] megjelent elméleti háttérhez, koncepcióhoz képest megváltozott, mert a mérőrendszer egyes komponenseinek javuló paraméterei kibővítették a lehetőségeket, vagy az időközben folytatott elméleti és gyakorlati munka pozitív változásokat hozott a fejlesztésbe, vagy éppen az időközben beszerzett hardver olyan paraméterekkel bír, amelyek az eredeti koncepciót megváltoztatták. Természetesen és szerencsére olyan módosításokról nincs szó, amelyek alapjaiban „rengetnék meg" az eddig elvégzett munkát, inkább csak valami olyasmiről, mint amikor egy jól megírt dolgozattervezethez az opponensek kisebb változtatást javasolnak a védésre bocsátás előtt.

A szerzők továbbra is fenntartják maguknak a jogot, hogy a cikk tárgyát képező, drónra szerelhető radiológiai modult helyenként radioszenzoros modulnak, radioszenzor-modulnak, radiomodulnak, esetleg radiológiai modulnak hívják, ugyanúgy, mint az előző cikkben. Ez ott sem tévesztette meg a kedves olvasót, és itt sem fogja. Most pedig lássuk először, hogy melyek is azok a változások, amelyeket az idő kényszerített ki!

[1] Radioszenzoros – radioaktív szenzoros modul.

2. Az alapkoncepcióban történt változások

Az [1] cikkben leírtakhoz képest néhány kisebb, a fejlesztés koncepcióját, menetét nem befolyásoló változtatással volt dolgunk. Alapvetően az eredeti elgondolás hardverkomponenseit érintik, illetve a szoftveres támogatás egy részét. A legfőbb változást valójában az hozta, hogy az [1] cikkben közölt elemzések szerint a GM-számláló, még ha az ott megnevezett kvadromodullal van is dolgunk, jelentős statisztikus hibával terhelt dózisteljesítményt nyújt, ahol a relatív hiba 30 m magasságban történő repüléskor ±40%-os lesz. A jóval stabilabb és pontosabb mérés érdekében szükségesnek bizonyult a szcintillációs detektor alkalmazása dózisteljesítmény-mérésre. Itt viszont meg kellett változtatni az alapkoncepciót, és a szcintillációs detektor méréseit nemcsak egy pont felett lebegve spektrum felvételére, hanem pásztázó dózisteljesítmény-mérésre is alkalmazni kell. Ez azt is jelenti, hogy minden egyes mérési ponthoz rendelt adatrekord struktúrájának tartalmaznia kell a szcintillációs detektor gammaspektrumát is, amely 1024 csatornán egész számok tömbjében tárolva önmagában is lefoglalja az Arduino Mega 8 kB adatmemóriájának felét, ami a mérőprogram fejlesztése során nagy nehézségeket, folyamatos kódoptimálást, adatméregetést követelne meg, ami egyrészt megbonyolítaná az algoritmust, másrészt a Mega műveleti és adatkommunikációs sebessége esetleg problémát okozhatna a perifériák kezelése során. A legfontosabb körülmény itt a szcintillációs detektor folyamatos működtetésének biztosítása az alábbiak miatt.

A szcintillációs detektor, a mérőrendszerben alkalmazott Ø3 × 3" (Ø76 × 76 mm) hengergeometriájú kristállyal több mint két nagyságrenddel nagyobb spektrumintenzitással rendelkezik, mint a négycsöves, kvadro-GM-számláló beütési intenzitása azonos környezetben, ami azt jelenti, hogy a szcintillációs spektrumból számolt dózisteljesítmény statisztikus hibája 30 m magasságban végzett repülés esetén a Magyarországon mért átlagos háttérben 4%-on belül van. A szcintillációs detektorral történő dózisteljesítmény-mérést a szoftveres módszerek között tárgyaljuk.

Itt nagyon fontos momentumot kell „tisztába tennünk", a későbbi félreértések elkerülése végett. Úgy tűnhet, hogy a tervezett GM-számlálónak mintha már nem is lenne helye a projektben. Dehogy nincs! Nagyon is fontos a megléte, mivel a szcintillációs detektor kristályában magas dózisteljesítményeknél a normál háttérsugárzásnál kb. 3 nagyságrenddel intenzívebb sugárzási térben maradvány-szcintillációs sugárzás keletkezik, amelynek lecsengése exponenciális, és hosszabb időt is igénybe vehet. Ebben az esetben a GM-számláló mint dózisteljesítmény-mérő alapműszer játszik szerepet, ezenkívül nagy intenzitású sugárzási térben a GM-számláló statisztikus hibája drasztikusan csökken, ami alkalmassá teszi a stabil dózisteljesítmény-mérésre [1].

2.1. A rendszer hardverében történt módosítások

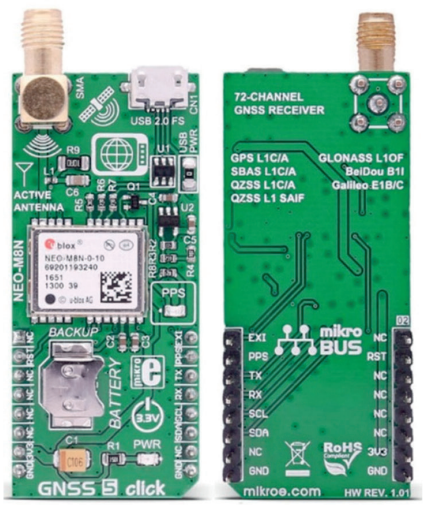
2.1.1. GPS-vevő

Az általános rendeltetésű szenzoroknál a fejlesztés során az V.KEL VK2828U7G5L GPS-vevőt használtuk, amely igen kedvező vevőérzékenységgel és ár/minőség mutatóval rendelkezik.

1. ábra
V.KEL TTL VK2828U7G5LF GPS-vevő-modul a kerámia antennával [a szerzők]

Az egyetlen tényező, amely hátrányként róható fel neki, hogy csak az amerikai Navstar rendszert használja. A végleges modul beérkezéséig azonban kellemesen használhatónak bizonyult.

A végleges szenzornál az eredetileg tervezett NEO-M8N GPS-vevőt alkalmazzuk, amely támogatja aktív antenna használatát is, és a Navstar mellett a Galileo, a GLONASS és a BeiDou rendszert is képes használni (egyszerre hármat).



2. ábra
NEO-M8N GPS-vevő [a szerzők]

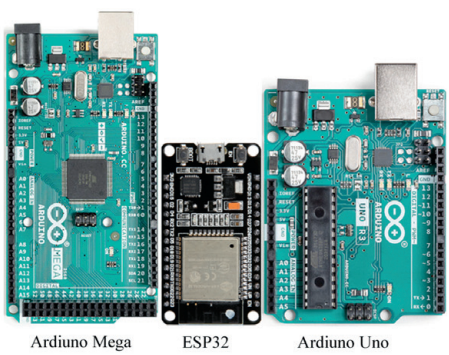
2.1.2. Mikrokontroller

Nos, itt a változás jelentős minőségi előrelépést takar. Már az elméleti munka során nyilvánvaló volt, hogy a mikrokontroller felprogramozása, a perifériák illesztése és összehangolása többek között többhardveres soros port meglétét kívánná, bár szoftveres soros portok definiálásával is működtethetők a perifériák, azonban ezt a fejlesztők nem „szeretik". Szükség volt alternatív megoldásra, ezért a mérőrendszer „agya" az ESP32 mikroprocesszor-családba tartozó kétmagos processzor lett. Az 1. táblázatban rögzítettük a legfontosabb paramétereket, amelyeket összehasonlítva az Arduino Uno és Mega alaplappal szembetűnő a különbség.

1. táblázat
Az Arduino-alaplapok és az ESP32 paramétereinek összehasonlítása, dőlt betűvel kiemelve a fejlesztés szempontjából legfontosabb különbségeket [a szerzők]

Jellemzők	ESP32	Arduino Uno	Arduino Mega
Digitális I/O adatport	36	14	54
DC I/O adatportonként	40 mA	20 mA	20 mA
Analóg portok	18	6, 10-bit ADC	6, 10-bit ADC
Mikroprocesszor	*Xtensa Dual Core 32-bit LX6*	*ATmega328P*	*ATmega2560*
Flash Memória	*4 MB*	*32 kB*	*256 kB*
SRAM	*520 kB*	*2 kB*	*8 kB*
EEPROM	Nincs	1 kB	4 kB
Órajel	*240 MHz*	*16 MHz*	*16 MHz*
Feszültség	3,3 V	5 V	5 V
Wifi	*802,11 b/g/n*	*Nincs*	*Nincs*
Bluetooth	*v4.2 BR/EDR and BLE*	*Nincs*	*Nincs*
I2C-támogatás	Igen (2x)	Igen	Igen
SPI-támogatás	Igen (4x)	Igen	Igen
Hardver-sorosport	*3*	*1*	*1*
USB-csatlakozó	Micro-USB	USB-B	USB-B

A szenzormodul mikrokontrollerének cseréje azonban nem jelenti azt, hogy szakítottunk az Arduino-környezetben történő fejlesztéssel, sőt, éppen ellenkezőleg, a mikrokontroller felprogramozása, a perifériák illesztése az Arduino fejlesztőkörnyezetében, teljes körű kompatibilitással valósul meg, a különbség mindössze annyi, hogy az ESP32 520 kB adatmemóriája és 4 MB programmemóriája az Arduino Mega 8 kB adatmemóriájával és 256 kB programmemóriájával szemben gyakorlatilag korlátlan mértékben megnöveli a programozás lehetőségeit. Ezenkívül a 3 hardveres soros port megléte lényegesen stabilabbá teszi a többirányú adatkommunikációt.



3. ábra
A két Arduino és az ESP32 kétmagos alaplap [4]

2.2. Szoftveres fejlesztések

A szenzormodul szoftveres környezetének megteremtéséhez szükség volt a perifériák adatstruktúrájának lekérdezésére írt kommunikációs kódokon kívül egyéb eljárások kifejlesztésére is, ezek közül a legfontosabbak leírását az alábbiakban részletesen közöljük.

A mérőrendszer elemeinek adatkommunikációs kódjait az alábbiakban foglaljuk össze.

2.2.1. Periféria–kontroller-kommunikáció

A mikrokontroller a perifériák adatait szakaszosan kérdezi le. Mivel a lekérdezések során nem alkalmazunk hardveres megszakításokat, így az időzítés a szcintillációs detektor–kontroller-kapcsolaton keresztül valósul meg, mivel ez a kapcsolat folyamatos. A szcintillációs detektor a kontrollernek 0,5 s-ként küld spektrumot, azonban a kontroller ezekből a mérési pontokra meghatározott mérési ciklusonként csak 1 spektrumot rögzít és dolgoz fel, ami egyben a többi periféria lekérdezésének ideje is. A szcintillációs gammaspektrum kumulatív, vagyis állandó növekményes, amelyből az egyes ciklusonként az előző ciklusból differenciális spektrumot képez, és ez lesz az adott ciklusra érvényes spektrum. A ciklusonként rögzített adatstruktúrák adatrekordokként a kontrollerhez illesztett nagy kapacitású memóriamodulban lesznek eltárolva, ezenkívül, online rádiókapcsolat megléte esetén, tömörített struktúrában, lesugározva a földi vevőállomásra, ahol lehetőség lesz térinformatikai környezetben való megjelenítésre.

2.2.2. Kontroller–háttértároló nagy kapacitású memóriakapcsolat

A mérési ciklusonként a háttértárolóra írt adatrekordok nyers, primer adattömeget (adatbázist) képeznek, és változatlan formában tárolódnak, feldolgozásuk itt nem történik meg, vagyis a kapcsolat a működés során kizárólag egyirányú művelet, természetesen a kiírást CRC-vel ellenőrizve.

2.2.3. Háttértároló (kontrolleren keresztül) – PC-kapcsolat

Az adatfeldolgozás jelen projekt keretében offline történik, amelynek során a primer adatbázis PC-környezetben térinformatikai vagy a mérőrendszer megjelenítő szoftverében lesz majd feldolgozva.

Az alábbiakban részletesen kifejtjük két nagyon fontos eljárását a mérőprogramnak, a legfontosabb hardverperifériának, a szcintillációs detektornak két alapvető számítási, illetve kompenzációs kódját, a gammaspektrumból történő dózisteljesítmény-mérésnek, illetve a szcintillációs detektor energiakalibrációjának a hőmérsékletfüggését kompenzáló algoritmust.

2.2.4. Kontroller–bázisállomás rádiós kapcsolat

Az adatok valós idejű feldolgozása/megjelenítése ezen a kapcsolaton keresztül zajlik, több frekvencián. A használt frekvenciasávokra vonatkozó szabályozások miatt nem a nyers adattömeg, hanem tömörített struktúra lesz lesugározva. A rádiós kapcsolat megléte nemcsak az adatok közvetlen és azonnali megjelenítéséhez fontos, hanem egyfajta redundanciát is ad a rendszernek a hordozó gép vagy a memória sérülése esetére. Emellett a bázisállomás már alkalmas lehet komolyabb előfeldolgozások elvégzésére is.

2.3. Szcintillációs detektorral történő dózisteljesítmény-mérés

A szcintillációs detektorral felvett spektrumból a dózisteljesítmény képzése a teljes spektrum feldolgozása során történik. A referenciadokumentum a JAERI-M-91-204 Japan Atomic Energy Research Institute (2005 óta Japan Atomic Energy Agency) [2] által kiadott technikai dokumentáció, amely a leggyakoribb méretű (1"–5", henger- és gömbgeometriájú) NaI(Tl) szcintillációs kristályokra vonatkozó spektrum-dózis konverziós együtthatókat tartalmazza. Az alkalmazott összefüggés az alábbi:

$$D = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} P(E) \cdot G(E) dE = \sum_{I_{\min}}^{I_{\max}} P(I) \cdot G(I) \tag{1}$$

ahol:

- D – dózisteljesítmény (nGy/h);
- P(E) – impulzuseloszlás (cpm/keV);
- P(I) – többcsatornás impulzusanalizátorral mért magasságeloszlás (cpm/csatorna);
- E – gammaenergia (keV);
- I – a csatornák száma;
- E_{min} – a gammaenergia mérésének alsó határa (keV);
- E_{max} – a dózisteljesítmény értékelésének felső gammaenergia-határa (keV);
- I_{min} – az E_{min}-nek megfelelő csatornaszám;
- I_{max} – az E_{max}-nak megfelelő csatornaszám: spektrum-dózis konverziós operátor (nGy/h/cpm);
- G(E), G(I) – spektrum-dózis konverziós operátor (nGy/h/cpm).

2.3.1. A szcintillációs detektor hőmérsékletfüggés-kompenzáló algoritmusa

A szcintillációs detektor hőmérsékletfüggése a gammaspektrum megváltozásához vezet, mivel a kristály fényhozama és a fotoelektron-sokszorozó hatásfoka függ ezen részegységek hőmérsékletétől. Ez az energiakalibráció „elcsúszásához" vezet, ami nemkívánatos esemény a mérés során. Eme jelenség kompenzálására egyszerű matematikai modell lett kidolgozva [3]. A modell rövid leírása az alábbiak szerint valósul meg.

Először is, az energiakalibrációs függvényt egyszerű, másodfokú polinommal közelítjük:

$$E = ax_i^2 + bx_i + c \tag{2}$$

A detektor állandó T_0 referencia-hőmérséklete (például T_0 = 243 K) mellett az analizátor (MCA) i-dik csatornájának x_{i0} pozíciója állandó marad. Így az energiakalibrálás is változatlan marad. A hőmérséklet változása azonban csatornaváltáshoz vezet, ami „elrontja" az energiakalibrálást, és a radionuklidok téves azonosításához vezethet. Így a T_k hőmérsékleten mért gammaspektrumban az i-dik csatorna x_{ik} pozíciója a T_0 hőmérsékleten mért x_{i0} referenciapozícióhoz képest eltolódik.

Ha fix feszültség és erősítés esetén feltételezzük, hogy a csatornák pozíciói csak a hőmérséklettől függenek, akkor egyszerű összefüggést állíthatunk fel x_{ik} és x_{i0} között:

$$x_{ik} = x_{i0} f_i(T_k) \tag{3}$$

ahol $f_i(T_k)$ az a függvény, amely csak a hőmérséklettől függ. A kísérleti adatok alapján feltételezzük, hogy a hőmérséklet-változás miatti relatív csatornaeltolódás a spektrumnak megfelelő összes n csatorna esetében megközelítőleg azonos. Így az $f_i(T_k)$ függvények a következők lesznek:

$$f_1(T_k) \approx f_2(T_k) \approx f_n(T_k) = f(T_k) \tag{4}$$

Emellett feltételezzük, hogy a például 243 K hőmérsékleten felvett spektrumot tekintjük referenciának, és megvizsgáljuk a spektrumban megjelenő nuklidok teljes energiacsúcs-centroidjainak vándorlását.

A spektrum stabilizálása érdekében a $x_{ik}^{\text{referencia}}$ pozíciót, amely a T_0 hőmérsékletnél a $x_{ik}^{\text{referencia}} = x_{i0}$ referenciapozíció, az új x_{ik} pozícióba helyezzük.

Az (1) egyenletben a (2) egyenlet feltételezését felhasználva a korrigált csatornapozíció a következő egyenlettel írható fel:

$$x_{ik} = x_{ik}^{\text{referencia}} f(T_k) \tag{5}$$

A korrigált spektrummal a T_0 referencia-hőmérsékleten kapott energiakalibráció továbbra is érvényes. A javasolt módszer célja tehát az $f(T_k)$ olyan közelítésének megtalálása, amely korrigálja a mért spektrum energiakalibrálását.

Ez a módszer a mért spektrum energiakalibrációs együtthatóit korábbi laboratóriumi méréseken alapuló algoritmus segítségével számítja ki. Így a mérések során nincs szükség radioaktív vagy impulzusreferenciára. Az adatokat azonban laboratóriumban, ellenőrzött hőmérsékleti körülmények között kell gyűjteni, ami nem mindig lehetséges. Ez a módszer a referenciapozícióval normalizált negyedrendű polinomiális közelítést feltételez a $f_i(T_k)$ függvényekre. Így a (3) egyenlet az alábbi formát ölti:

$$f(T_k) = \frac{x_{ik}}{x_{i0}} = \sum_{j=0}^{4} a_j T_k^j = a_4 T_k^4 + a_3 T_k^3 + a_2 T_k^2 + a_1 T_k + a_0 \tag{6}$$

Ha feltételezzük az energiacsatornáknak a hőmérséklet-változás hatására történő, egymáshoz képest arányos változását az (2) összefüggés szerint, akkor ezzel az egyszerű módszerrel máris dolgozhatunk. Ellenkező esetben, ha a változás nem proporcionális, a (6) összefüggést átírjuk mátrixformára:

$$f(T_k) = \begin{pmatrix} 1 & T_k & T_k^2 & T_k^3 & \cdots & T_k^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \tag{7}$$

Miután a kísérleteket a T_1 és T_m közötti különböző hőmérsékleteken elvégeztük, a (7) egyenletet n-edik rendű polinomillesztéssel a (8) egyenletté bővítjük:

$$\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \cdots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \cdots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \cdots & T_m^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \tag{8}$$

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \cdots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \cdots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \cdots & T_m^n \end{pmatrix} \tag{9}$$

A hőmérséklet és a csúcs centroid pozíciójának kísérleti adatai után az n-edik rendű polinom korrekciós együtthatói mátrixműveletekkel gyorsan megkaphatók. Biztosítani kell, hogy a (9) egyenletben látható T hőmérsékleti együttható mátrix négyzetmátrix legyen. Ezért, ha az n-edik rendű polinom n értékét m-1-re választjuk, a T hőmérsékletmátrix m-ed rendű négyzetmátrix lesz. Ha a T hőmérsékleti együttható mátrix reverzibilis, nem szinguláris mátrix, akkor az A vektorban látható n-edik rendű polinom a_0, a_1,..., a_n korrekciós együtthatóit az alábbi (10) egyenlet határozza meg.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \cdots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \cdots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \cdots & T_m^n \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} \tag{10}$$

Ha a T hőmérsékleti együttható mátrix irreverzibilis szinguláris mátrix, akkor a Moore–Penrose általánosított T^{-1} inverz mátrixa, amely a (12) és a (13) egyenletben látható, használható helyette. Az M csak köztes folyamatmátrix.

$$\mathbf{M} = \left[\begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \cdots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \cdots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \cdots & T_m^n \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \cdots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \cdots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \cdots & T_m^n \end{pmatrix} \right]^1 \tag{11}$$

$$\mathbf{T}^{-1} = \mathbf{M} \times \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \cdots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \cdots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \cdots & T_m^n \end{pmatrix}^T \tag{12}$$

Az n-edik rendű polinom **A** korrekciós együttható vektorainak egységes kifejezését a (13) egyenlet írja le.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \mathbf{T}^{-1} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} \tag{13}$$

Az aktuális módszer a szcintillációs detektor analizátorának EPROM-jába lesz beégetve, a tesztek során az egyszerűsített, proporcionális módszer szerint, azonban a szenzormodulban az általános módszert fogjuk alkalmazni.

3. Összefoglalás

Jelen cikk áttekintette a drónra szerelhető radioszenzoros modul fejlesztésének aktuális állapotát, kiemelt figyelmet fordítva a gyakorlati munka során már megoldott problémákra, illetve a fejlesztők előtti feladatokra.

Összességében az igazi munkát, vagyis a legizgalmasabb részt, azaz a „vassal" történő fejlesztést csak most kezdtük. A már előre kidolgozott szoftveres kódok egy részét újra kell írnunk, ezen kívül a „vas", a mérőrendszer működési koncepciójában is már van némi változás, de azt hiszem, ez az igazi szépsége a tudományos kutatási-fejlesztési tevékenységnek. Ennél talán szebb már csak az lehetne, ha olyan problémával találkoznánk, amelyről az adott pillanatban fogalmunk sem lenne, hogyan oldjuk meg, pedig a határidő szorít, azonban ez most itt nekünk, a fejlesztőknek szerencsére nem adatott meg.

Felhasznált irodalom

[1] Csurgai J., „Drónra szerelhető radiológiai modul fejlesztési koncepció, hardveres felépítés és nukleáris méréstechnikai alapok," Repüléstudományi Közlemények, 34. évf. 3. sz. pp. 181–202. 2023. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2022.3.12

[2] M. Tstsumi, K. Saito, S. Moriuchi, „Spectrum-dose Conversion Operators, G(E) Functions of NaI(T1) Scintillators Adapted for Effective Dose Equivalent Quantities (JAERI-M-91-204)". Online: https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAERI-M-91-204.pdf
[3] Csurgai J., Padányi J., Földi L., „Temperature Dependence of NaI(Tl) Radiation Scintillation Detectors' Characteristics," Advances in Military Technology, 15. évf. 1. sz. pp. 201–212. 2020. Online: https://doi.org/10.3849/aimt.01328
[4] Linuxhint: Is ESP32 Better than Arduino. Online: https://linuxhint.com/esp32-vs-arduino/

The Bumpy Road of our Drone-Mountable Radiology Module Development

In a previous article, we talked about the development of a drone-mounted sensor module for airborne radiological detection under the TKP tender. In this article, we would like to give a non-exhaustive picture of where we are in the development process after the theoretical research, what we have accomplished and what is still needed to bring the resultant product to the table. Since the previous article already contains the theoretical background to the research and this article is a continuation of it, we will omit the otherwise important literature review and detailed introduction to the topic, i.e. we will present the situation of the practical stage of our development "in medias res".

Keywords: *airborne radiological reconnaissance, radio sensor module, radiological survey*

Dr. Csurgai József egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti és Támogató Tanszék csurgai.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-4770-7997	József Csurgai, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Sciences and Officer Training Department of Operations and Support csurgai.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-4770-7997
Dr. Szilvássy László egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559	László Szilvássy, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Sciences and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559

Jámbor Krisztián szakoktató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék jambor.krisztian@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-6406-0841	Krisztián Jámbor Instructor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Sciences and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems jambor.krisztian@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-6406-0841

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 79–86. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.8

Szilvási Marcell, Orosz Máté

Bányafal mérése és modellezése robbantás előtt és után

A Miskolc-Mexikóvölgyi Mészkőbányában két robbantásos kőzetjövesztés eseményeinek a terepi felszínváltozásait rögzítettük. A terepi geodéziai adatgyűjtés egy totál mérőállomás és a hozzá tartozó prizma segítségével történt meg. Az adatfeldolgozást és a terepi modellezést a Microsoft Excel, majd a Golden Software Surfer programmal végeztük el. A lerobbantott kőzetállomány letermelése után ismételt mérések történtek, amelyek által a térfogatbéli változásokat is sikerült elvégezni.

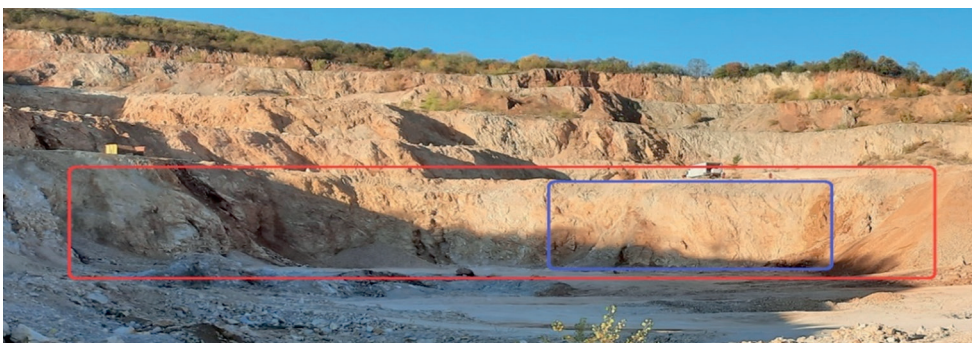
Kulcsszavak: *totál mérőállomás, bányamérés, felszínmodellezés, Surfer, mészkő, robbantás*

1. Bevezetés

A cikk témáját a Miskolc-Mexikóvölgyi Mészkőbányában végzett kutatás bányamérései adták alapul. A második szerző munkahelyéül szolgáló létesítmény jó helyszínt biztosított a kutatásnak. A bányafalak előrehaladásának folyamatos mérése és a térképek aktualizálása fontos feladata a bányának, hogy megfelelő alapokkal rendelkező termelési és tervezési döntéseket tudjanak hozni a bánya vezetői. Ezt a feladatot a hites bányamérők látják el az egyes bányákkal együttműködve, de mégis független szervként. Ezeket a méréseket általában leggyakrabban csak negyedévente végzik el, amelyeknek az eredményét az állami szervek felé is le kell közölni a bányajáradék megállapítása végett. Azonban az egyes bányákban, ahol nagy a termelékenység, sokkal gyorsabban haladnak előre a bányafalak a robbantások és a termelés által, mint ahogyan azokat feltérképeznék. Illetve a robbantások előtt készülnek tervek, hogy hány köbméternyi kőzet fog várhatóan a robbantás által összetöredezve leomlani. Ennek az eredménye általános esetben csak a kitermelés, a szállítás és az értékesítési lánc végén derül ki pontosan. Ennek pontosítására, illetve hamarabbi becslésére a bányafalmérések megfelelő időpontokban való elvégzése alkalmas lehet. Azonban ez pluszmunkát jelent, amely kérdéses, hogy megéri-e a bányavállalkozónak. A különböző bányamérési technikák különböző sebességgel, pontsűrűséggel tudnak dolgozni, de precizitásuknak a valóságtól maximum 5%-on belüli értéket kell produkálnia. Ez a szám a technológia fejlődésének köszönhetően egyre csökken, ahogy a felmérési idő is. Ezeknek a technológiáknak a nagy felbontóképessége egyben a hátránya is olyan szempontból, hogy az akár milliószor több felmért pont feldolgozásához sokkal erősebb számítógép és fejlett szoftverek szükségesek.

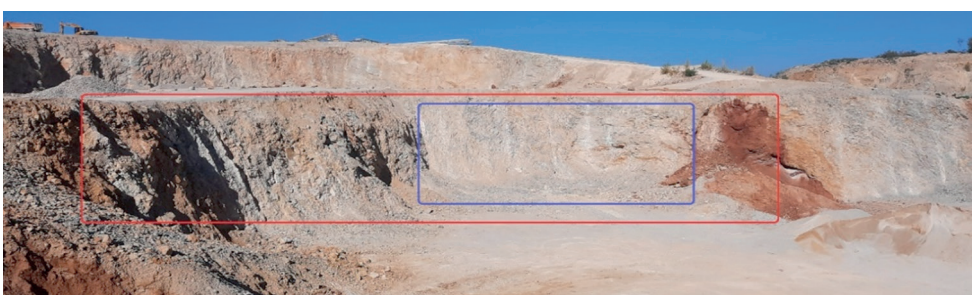
2. Terepi adatgyűjtés

A bányában a kutatás elvégzése pillanatában két egymástól nem messze, de különböző magassági szinten (315 mBf[1], 330 mBf) található bányafalrobbantást készítettek elő [1]. Ezek a helyszínek az 1. és a 2. ábrán láthatóak. Az első alkalommal mind a két robbantási területet és a köztük elhelyezkedő térrészt is felmértük, hogy legyen kiinduló állapota a modellezéseknek és a későbbi számításoknak. Ezen felmérés után közvetlenül robbantották le az első ábrán látható kékkel jelölt bányafalrészt. A képen még a furatokat robbanóanyaggal töltő fehér gépjármű is látható. A robbantás utáni bányafal, illetve a már lejövesztett kőzettörmelékből álló félkúp állapotát még a termelés megkezdése előtt ismételten felmértük. Ez lett a 4D-modell második fázisa.



1. ábra
Az első robbantás helyszíne, ahol a pirossal keretezett rész a mért bányafal egy részét, a kék keret által lehatárolt terület a tervezett robbantás helyét jelöli [a szerzők]

A 2. ábrán látható robbantást az ezt követő napokban végezték el, de sajnos azon a napon a mérések elvégzésére nem volt lehetőség más szakmai elfoglaltság miatt. A kezdeti állapotot ugyan rögzítettük, de legközelebb már csak néhány napi termelés után sikerült felmérni a helyzetet. Ebben az időpillanatban már letermelték az első robbantás helyszínén lévő lejövesztett nyersanyagot, így ott a harmadik fázisát is sikerült felmérni a bányafal előrehaladásának.



2. ábra
A második robbantás helyszíne, ahol a pirossal keretezett rész a mért bányafal egy részét, a kék keret által lehatárolt terület a tervezett robbantás helyét jelöli [a szerzők]

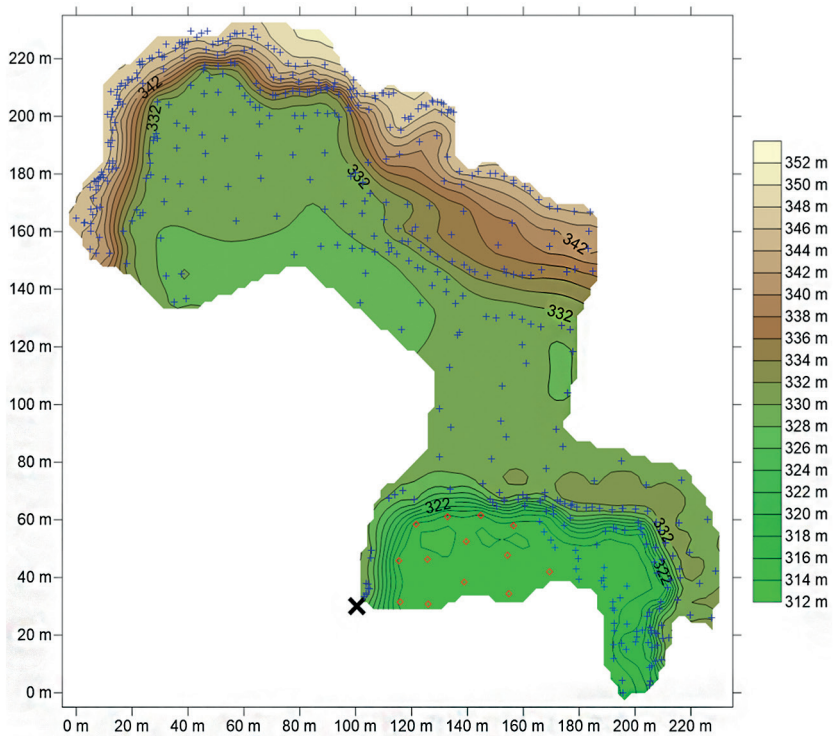
[1] mBf – a Balti-tenger feletti tengerszint méterben.

A méréseket Leica TS06-os totál mérőállomással kiviteleztük [3]. Ez a műszer kiváló a bányamérési feladatok elvégzésére, hiszen 1 mérőállásból a belátható térséget akár 1 km-ig is képes rögzíteni ideális körülmények között. Tulajdonképpen minden részecske, amely a mérő lézerfényének útjába kerül, csökkenti a pontosságot és a mérési távolságot. Működő bányában gyakran előfordulnak porfelhők, lehetőleg kerülni kell a mérést ilyen helyzetekben. A csapadék nemcsak minket és a műszert áztathatja el, hanem a levegőben lévő apró vízcseppecskéken megtörik a lézerfény útja. Valamint a vízréteggel borított kőzetekről visszaverődő jelek minősége is jelentősen romlik. A növényzetről visszaverődő jelek is általában használhatatlanok, kerülni kell az ilyen mérési felületeket, illetve a jel útvonalában se legyenek növényzeti zavaró objektumok, amelyek a változó légmozgás miatt a látómezőbe kerülhetnek ideiglenesen.

Léteznek különböző technikák az ilyen típusú felmérésekre. GNSS-technológiával (hétköznapi nevén GPS-ként elterjedt) pontonként is lehet nagy pontossággal térképezni, viszont azzal a mérendő pontra kell helyezni a műszert, ellenben a mérőállomással, amellyel távolról prizma nélkül is történhet a mérés. A drónos fotogrammetriai eljárások is nagyon elterjedtek manapság, mert gyorsan nagy területeket lehet velük felmérni, ám a különböző engedélyeztetési eljárások rugalmatlanná teszik a nem előre eltervezett méréseket. A lézerszkennerek kiválóak az ilyen típusú felmérésekre, hiszen gyorsan nagy pontossággal mérnek. Azonban beszerzési áruk többszöröse a mérőállomásokénak, valamint az adatfeldolgozás is sokkal bonyolultabb.

A 3. ábrán X-el megjelölt helyen helyeztük el a mérőműszert, ahonnan tökéletes rálátás adódott mindkét robbantási helyszínre és a körülöttük lévő térre. Ott fix pontot tűztünk ki, ahonnan mindhárom időbeli méréskor azonos helyre lehetett pontra állással kezdeni a felmérést. Valamint a távolban egy másik fix pont adta a kezdőirányt, így ugyanazon helyi rendszerben rögzítettük a felmért koordináták x, y és z értékeit. Ezt a későbbi könnyebb adatfeldolgozás miatt célszerű rögzíteni abban az esetben, ha nincsenek ismert megirányozható pontok, amelyekről a tájékozódást el lehetne végezni, vagy nincs rendelkezésre álló GNSS-eszköz a helyzetmeghatározáshoz.

Összesen 499 db pontot mértünk fel a teljes területen a robbantások és a termelés által megváltozott különböző állapotokban. A kék + jelek a bemért pontok, illetve a 315 mBf szinten a vizuális megjelenítésbe belekerült 13 db fiktív pont (piros rombuszokkal megjelölve). Ez csupán kiegészítése az ábrának, hogy jobban érzékelhető legyen a három különálló termelési szint, viszont ezt a fiktív pontokkal határolt zónát nem lehetett ebből a mérőállás pontból belátni, azonban szemmel láthatóan közel vízszintes síkra volt elrendezve a terep azon a helyen.



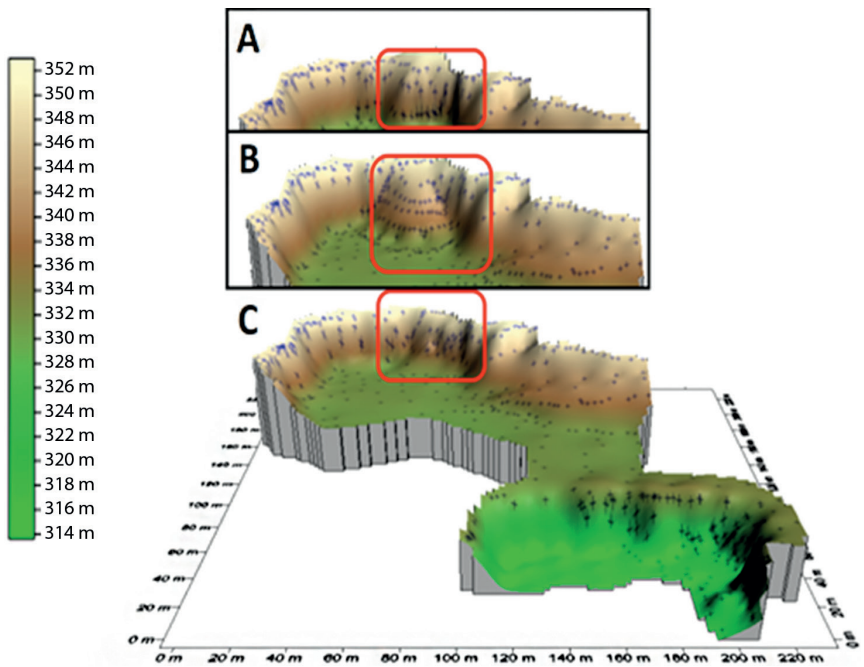
3. ábra
A bemért pontokból interpolálással kapott domborzati felület a kezdő állapotban, X-el megjelölve a mérőműszer álláshelye [a szerzők]

3. Adatfeldolgozás

A terepi mérések után a mérési fájlokat ki kellett exportálni a műszerből, majd Excel-táblában következtek a feldolgozás következő lépései. Mindenképp fontos elkülöníteni, mely pontok mely állapothoz tartoznak a robbantáshoz képest a bányaudvarban. Vannak természetesen olyan pontok is, amelyek mind a három fázisban változatlanul szerepelnek, ezeket is érdemes külön megjelölni, mert felhasználhatóak az összes modellnél a részletgazdagabb kép érdekében. A következő lépésben ezekből a pontokból interpolálás (krigelés) segítségével egyenközűen négyzetrács mentén a teljes felületre kiszámította a Surfer szoftver [4] a magassági értékeket. Ebből szintvonalas domborzati képet lehet kirajzoltatni. Mivel a program extrapolálást is végez, ezért a mért zónán kívüli részeket le kell vágni a végső térkép előállításához, hiszen csak mért adatokat szabad közölni. A 3. ábrán megtekinthető egy ilyen extrapolálásokat nem tartalmazó térkép.

A 4. ábrán jól látható, hogy a kezdeti „A" állapot után történt robbantás kőzetkúpot hozott létre („B" állapot). Mindkét helyzethez külön fel lett mérve az arra a területre jellemző felület. Elsőnek érdemes körbe lehatárolni az objektumot. Ez annyit tesz, hogy a falrészlet

lábvonalában néhány méterenként felmérünk pontokat, majd a tetőpontoknál is. Ezután a fal közepébe a magasságától függően több közel vízszintes szelvény mentén is mérünk pontokat kellő sűrűséggel. Mivel a robbantás során csak a robbantás környezetében változik meg a felület, így az alapmérés pontjainak ettől eltérő pontjait fel lehet használni a későbbi felületmodelleknél is. Ennek a lépésnek a megkönnyítése érdekében már a terepen érdemes odafigyelni, hogy az ezen térrészen mért pontok a többitől különböző sorszámmal kezdődjenek.



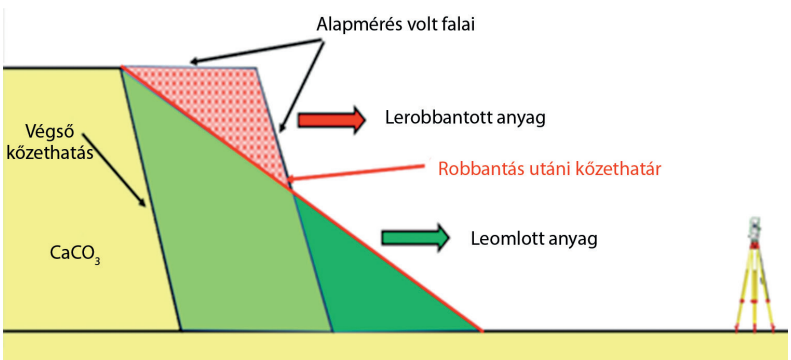
4. ábra
Az első robbantási helyszín előrehaladásának 3 fázisa (A, B és C) a robbantás és termelés folyamán [a szerzők]

A „B" állapot után megkezdődött a kőzetkupacból való termelés. Miután végeztek pár hét alatt ezen tevékenységükkel a bányabéli kollégák, ismételt bányamérések történtek, amelyek eredményéül a „C" állapot is kirajzolódott a 4. ábrán. Természetesen majd néhány éven belül (az előre rögzített bánya-előrehaladási tervek alapján) itt újabb robbantás lesz, és újabb modellek képezhetők mérések útján.

4. Térfogatszámítás

Az elkészült felületmodellekből már térfogatváltozások is számolhatóak például a Surfer program segítségével. Mindig szükséges két felület megadása, a felső általában a fő definiált felület, az alsó lehet konstans magassági érték, de különálló részletesen definiált felület is. Arra viszont vigyázni kell, hogy a két *gridfájl* celláinak a száma mindkét dimenzióban azonos legyen, enélkül nem fog létrejönni érvényes, számolt térfogati érték.

Az 5. ábrán egy bányafal előrehaladásának sematikus modellje látható oldalnézetből. A fal lerobbantása után a világoszölddel és a piros mintával jelölt térrész aprózódik. A gravitáció hatására a kőzettípusnak megfelelő dőlésszöggel rendelkező rézsűjű kúphoz közeli alakzat alakul ki a sötét- és világoszöld részeken. A leomlott anyag térfogata több lesz, mint a felülről leomló „lerobbantott" anyagé, mivel kezdetben a másodlagos porozitás nem volt jelentős a kompakt kőzetben, de az aprózódás során annak jelentős szerepe lett, ami a térfogatnövekedést illeti. A számítások alapján a sötétzölddel jelölt „leomlott anyag" rész kicsivel több mint 3000 m^3-re adódott, míg a piros mintával jelölt „lerobbantott anyagé" 2000 m^3-nél kevesebbre. Ez az előbb részletezett porozitásnövekedés miatt jöhetett létre, illetve mérőállásból nem biztos, hogy kellő pontossággal lehetett a felső 345 mBf-szint felületét bemérni, bár nem is ez volt a cél a felmérés során. Miután elhordták a feldolgozásra szánt mészkövet (zölddel jelölt részek), kialakult a végső kőzethatár. Ezen felülethez képest az alapmérés fala által határolt test 5570 m^3-rel többre adódott. Ez az érték megfelelt az előzetes várakozásoknak, ami a tervezett lerobbantani kívánt kőzetmennyiséget illeti. Az ellenőrzések azért is lehetnek fontosak, mivel a tervezett robbantás nem mindig úgy sikerül, mint ahogy előre „papíron" megszerkesztik [2].



5. ábra
A mért robbantási fal 3 fázisának (alapmérés, robbantás után, végső állapot) sematikus vázlata oldalnézetből [a szerzők]

Van, hogy a robbantólyukak fúráskor a tervezett dőlésszögtől eltérő irányba haladnak, akár kereszteznek egy másikat is. A kőzettest sem feltétlenül teljesen homogén, ez is okozhat nem várt rendellenességeket a jövesztésben. Léteznek olyan robbantás előtti fúrólyukmérések, amelyek felderítik a hibásan létrejött geometriát a lyukak közt. Ilyenkor a kritikus helyeken ismételni kell a lyukak kialakítását. Amennyiben megfelelően sikerül a fúrólyukak geometriájának kialakítása, a jövesztett kőzetek kellően összetöredeznek. Ilyenkor a terepi felmérés során is egyszerűbb a felmérés, kisebb hibával lehet kalkulálni, mint amikor sok 1 méternél nagyobb átmérőjű szikla is megmarad.

A második robbantási helyszín már csak extra kutatási feladat volt, ha már épp akkor zajlottak ott az események, amikor az első helyszín mérései folytak. A fal kezdeti állapotát még rögzítettük, azonban a robbantás után csak két munkanappal később sikerült a lerobbantott állapotot felmérni, így onnan már jelentős mennyiségű kőzetmennyiség hiányzott,

ami a kiszámolt térfogati értékeken is érződött. Itt a számítások alapján az előző falnál levezetett analógia alapján a „lerobbantott anyag" rész 1100 m^3-re adódott. Ennek alapján erős becsléssel ~3000 m^3-re tehető az ezen falnál megmozgatott mészkő mennyisége. Az ilyen típusú mérésekkel folyamatosan rögzíthető a termelés előrehaladása. Léteznek már olyan telepíthető monitoringrendszerek, amelyek ezt a felmérést félautomata módon is el tudják végezni. Ezeknek a költsége, ahhoz képest, hogy csak 1 bányarészt tudnak megfigyelni, nem kifizetődő a hagyományos, manuális módszerekéhez képest.

Felhasznált irodalom

[1] KŐKA Kő- és Kavicsbányászati Kft. Miskolc-Mexikóvölgyi Mészkőbánya 2016–2025. évi Műszaki Üzemi Terve.
[2] KŐKA Kő- és Kavicsbányászati Kft. Miskolc-Mexikóvölgyi Mészkőbánya Technológia műszaki leírása.
[3] Leica TS06 instrument description. Online: https://totalstations.co/leica-flexline-ts06-flexible-total-station
[4] Surfer Software Description. Online: www.goldensoftware.com/products/surfer

Mine Wall Measurement and Modelling Before and After the Blasting Process

In the Miskolc Mexikóvölgy limestone mine, the field surface changes occurred by two blasting events were recorded. The field geodetic data was collected with the help of a total station and the corresponding prism. Data processing and field modeling were performed with Microsoft Excel and then with the Golden Software Surfer program. After the blasted rock has been transported, repeated measurements were made, which also allowed for calculate the changes in volume.

Keywords: *total station, mine surveying, surface modelling, Surfer, limestone, blasting*

Szilvási Marcell, MSc	Marcell Szilvási, MSc
egyetemi tanársegéd	Assistant Lecturer
Miskolci Egyetem	University of Miskolc
Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar	Faculty of Earth and Environmental Sciences and Engineering
Geodéziai és Bányaméréstani Intézeti Tanszék	Department of Geodesy and Mine Surveying
marcell.szilvasi@uni-miskolc.hu	marcell.szilvasi@uni-miskolc.hu
orcid.org/0009-0000-4900-2654	orcid.org/0009-0000-4900-2654

Orosz Máté földtudományi mérnök Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar Bányászati és Geotechnikai Intézeti Tanszék oroszmate1999@gmail.com orcid.org/0009-0004-4057-3564	Máté Orosz Geological Engineer University of Miskolc Faculty of Earth and Environmental Sciences and Engineering Department of Mining and Geotechnical Engineering oroszmate1999@gmail.com orcid.org/0009-0004-4057-3564

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 87–93. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.9

Buday Tamás, Budayné Bódi Erika

A bivalens hőszivattyús rendszerek használatának hatása a szén-dioxid-kibocsátásra

A hőszivattyúk használata számos előnnyel jár, mint például a fosszilis tüzelőanyagok arányának csökkentése az energiamixben és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése. Ezek a hatások azonban nagyban függnek a felhasznált külső energia típusától és a hőszivattyús rendszer paramétereitől, beleértve a monovalens vagy a bivalens üzemmód választását. Adott hőigénnyel rendelkező épület esetére meghatároztuk a gáztüzeléshez képest elérhető CO_2-kibocsátás-csökkenést három különböző üzemmódot, három különböző kiegészítő energiát és három különböző, villamosenergia-termelésből származó fajlagos CO_2-kibocsátási értéket figyelembe véve.

A hőszivattyú üzemeléséhez kapcsolódó CO_2-kibocsátás csökkentésének mértéke széles skálán mozog. Bivalens üzemmódban való működés esetén (bivalenciapont: 2 °C) az értékek kevésbé kedvezőek, és több vizsgált változat nem mutat kibocsátáscsökkenést, különösen akkor, ha alternatív üzemmódban működik. A fosszilis szén-dioxid-kibocsátás csökkenése azonban bivalens rendszerben a biomassza mint kiegészítő energiaforrás és a geotermikus hőszivattyúk alkalmazásával magas értéken tartható (akár 56,7% a magyarországi villamosenergia-mix mellett), ami nagyon hasonló a monovalens rendszerek CO_2-kibocsátás csökkentéséhez.

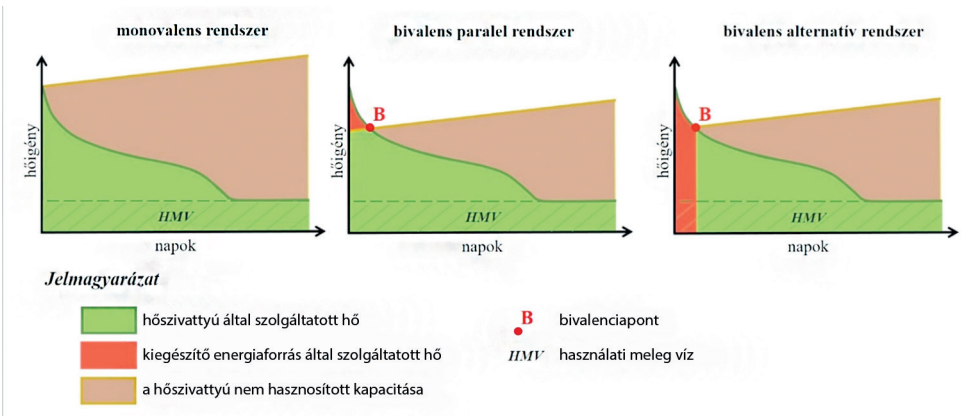
Kulcsszavak: *geotermikus hőszivattyú, monovalens üzemmód, bivalens üzemmód, CO_2-kibocsátás, gáztüzelés, biomassza*

1. Bevezetés

Magyarországi és európai viszonyok között a fűtés és a hűtés a legjelentősebb lakossági energiahasznosítási cél, így ezek környezeti hatásainak csökkentése nemzeti-nemzetközi szinten is kívánatos [3]. Ezek egyik eszköze lehet a hőszivattyúk használata, amelyek külső energia felhasználásával képesek hatékonyan szállítani a hőt a kisebb hőmérsékletű környezetből a fűtendő tér irányába, illetőleg egyes típusaik és kiépítéseik alkalmasak hűtésre is [5]. A felhasznált környezeti hő forrása lehet levegő, felszíni, felszín alatti víz, valamint a felszín alatti közeg. Ha a rendszert úgy méretezik, hogy a teljes fűtést és hűtést, valamint a használati melegvíz (HMV) előállítását önállóan látja el, monovalens rendszerről, míg ha a hőellátást bizonyos hőmérséklet (az úgynevezett bivalenciapont) alatt részben vagy teljesen kiegészítő energia szolgáltatja, bivalens rendszerről beszélünk. A bivalens rendszerek többféle módon kialakíthatók, jelen tanulmányban csak a bivalens paralel és bivalens alternatív üzemmódot vizsgáljuk. A bivalens paralel rendszerben a bivalenciapont feletti külső hőmérséklet esetén

csak a hőszivattyú látja el a hőigényt, míg alatta a hőszivattyú maximális teljesítménnyel működik, és a hiányzó hőigényt pótolja ki a kiegészítő energia. A bivalens alternatív rendszerek esetén a bivalenciapont feletti külső hőmérséklet esetén csak a hőszivattyú működik, míg alatta csak a kiegészítő energiát használják (1. ábra). A fűtési hőigény eloszlása alapvetően a külső hőmérséklet eloszlásától függ, így a hazai klimatikus viszonyok és méretezési hőmérsékletek figyelembevételével a monovalens hőszivattyúk teljes teljesítményüknek csak kis hányadát használják ki.

A kiegészítő energia a legegyszerűbb esetben megegyezik a hőszivattyú által használt energiahordozóval (monoenergetikus rendszerek), legtöbbször elektromos fűtőbetétet használnak. Ezek mellett a helyi adottságok függvényében földgázra vagy biomasszára alapozott kiegészítő tüzelés is kialakítható. A bivalens rendszerek kiépítése és használata rentábilis, ha a primer oldali rendszer méretét optimalizálják, vagy kiépíthetősége korlátozott; felújítások esetén, ha a kiegészítő rendszer már létezik (például gázfűtéses rendszerek korszerűsítése); ha a szekunder oldali hőleadókat nem cserélik ki, és a szekunder oldali hőmérsékletet szükséges növelni; beruházói igény esetén (például biomassza-kandalló) vagy gazdasági-környezeti optimalizálás miatt.



1. ábra
Hőszolgáltatási sémák monovalens és bivalens hőszivattyús rendszerekben [a szerzők]

A hőszivattyúk működését leíró legfontosabb paraméter fűtési üzemmódban a szekunder oldal felé leadott energia és a külső energia hányadosa (COP),[1] amely érték a modern hőszivattyúk esetében 3–6 közötti. Ennek megfelelően a segítségükkel kinyerhető környezeti hő a befektetett külső energia 2–5-szöröse, és az üzemeltetési költség, valamint a környezeti hatások is jelentősen csökkenhetnek. Ezek a csökkenések azonban a bivalens rendszerek esetén kisebbek.

Tanulmányunkban magyarországi (debreceni) klimatikus adottságok esetén vizsgáljuk, hogy hagyományos földgáztüzeléshez, illetve monovalens rendszerekhez képest hogyan változik a szén-dioxid-kibocsátás egy bivalens üzemű talajvizes hőszivattyús rendszer esetében különböző bivalenciapontok és kiegészítő fűtéstípusok esetén.

[1] COP: Coefficient of Performance, jóságfok.

2. Módszerek

Egy 205 kWh/m^2/év fajlagos fűtési energiaigényű, 100 m^2 alapterületű fiktív családi ház napi fűtési energiaigényét határoztuk meg a külső hőmérséklet függvényében, 20 °C-os belső hőmérséklet és 12 °C-os fűtési határhőmérséklet alkalmazásával. A külső hőmérsékletadatokat a CARPATCLIM adatbázis [6] 1960–2010 közötti Debrecenre vonatkozó napi középhőmérséklet-adataiból határoztuk meg, a naptári napi értékek átlagolásával. A használati meleg víz előállítása céljából további napi 44 MJ energiaigényt határoztunk meg, így a teljes energiaigény 90 GJ/év értékűnek adódott. A külső hőmérséklet és az üzemelési mód függvényében kiszámoltuk a napi hőigény szolgáltatásához szükséges forrásokat, illetve az azok üzemeléséhez kapcsolódó CO_2-kibocsátásokat különböző bivalenciapontok esetén [1] alapján. A hőszivattyúk külső energiaigényét egy valós hőszivattyú primer oldali hőmérsékletből számolt COP=3,67 értéke segítségével határoztuk meg. A földgáz- és a biomassza-tüzelés esetén 90%-os hatásfokkal, elektromos áram használata esetén 100%-os fűtési hatásfokkal, de 90%-os hálózati veszteséggel számoltunk. Az áramtermelés CO_2-kibocsátását nemzetközi statisztikák segítségével határoztuk meg 3 különböző energiamixű áramtermelés esetére: Magyarország („közepes") mellett egy alapvetően atomenergiára és megújulókra alapuló mix („kicsi", Svédország) és egy hagyományosan nagy fajlagos CO_2-kibocsátású mix („nagy", Észtország) adatait vizsgáltuk [2], [4].

1. táblázat
A különböző fűtési módokhoz kapcsolódó fajlagos CO_2-kibocsátás és -megtakarítás a gáztüzeléshez képest [a szerzők]

	fajlagos CO_2-kibocsátás (g CO_2/GJ)	CO_2-megtakarítás a gáztüzeléshez képest (%)
gáztüzelés	56,35	
elektromos fűtés („kicsi")	10,99	80,5%
elektromos fűtés („közepes")	94,91	nincs megtakarítás
elektromos fűtés („nagy")	265,77	nincs megtakarítás
elektromos hőszivattyú (COP=3,67, „kicsi")	2,99	94,7%
elektromos hőszivattyú (COP=3,67, „közepes")	25,86	54,1%
elektromos hőszivattyú (COP=3,67, „nagy")	72,42	nincs megtakarítás
fatüzelés	95,82	nincs megtakarítás

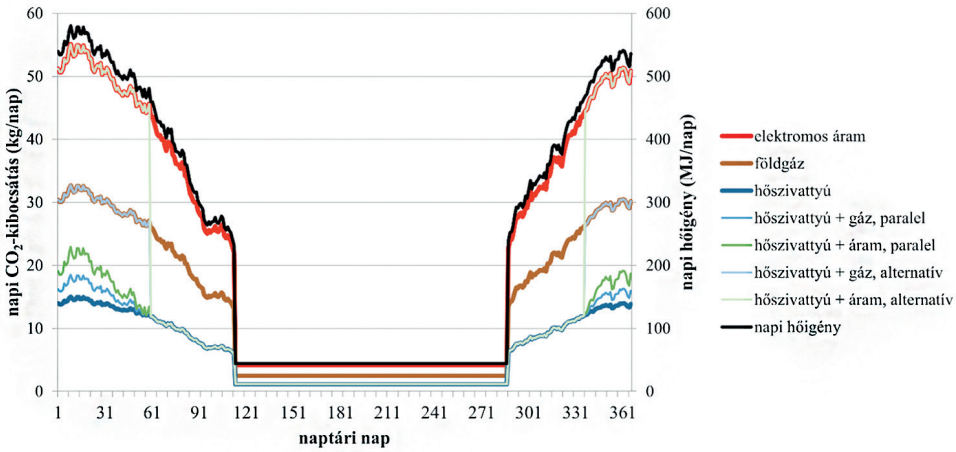
3. Eredmények és következtetések

A bivalenciapont értéke meghatározza a hőszivattyúval és a kiegészítő energiaforrással szolgáltatott energia arányát a teljes fűtési és HMV-előállítási energiaigényből (2. táblázat). Míg a párhuzamos üzemmód esetében a hőszivattyú marad a domináns eszköz, így a fűtéshez kapcsolódó szén-dioxid-kibocsátás lényegesen nem változik, addig az alternatív üzemmódban már kis bivalenciapont esetén is számottevő hatása lesz a kiegészítő fűtésnek.

2. táblázat
A hőszivattyú által szolgáltatott energia aránya a teljes fűtési és HMV-energiaigényhez [a szerzők]

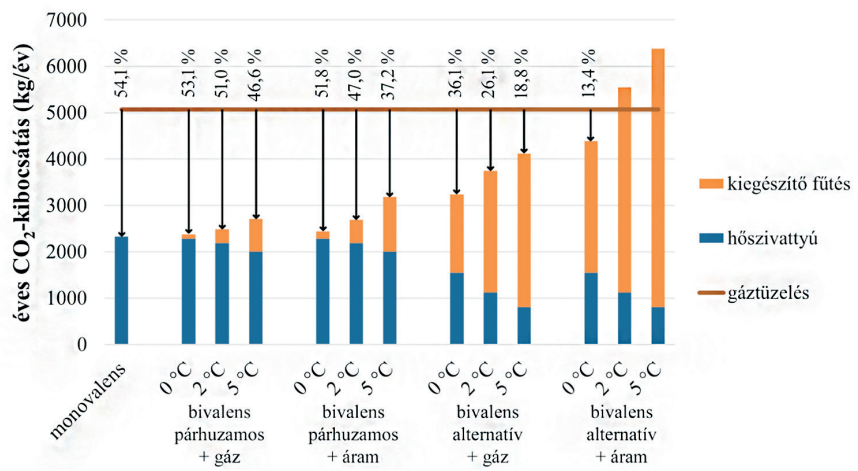
a bivalenciapont hőmérséklete	0 °C	2 °C	5 °C
párhuzamos üzemmód	98,1%	94,2%	86,2%
alternatív üzemmód	66,8%	48,2%	34,8%

A napi energiaigényhez kapcsolódó CO_2-kibocsátás (2. ábra) a hazai energiamix esetében a monovalens hőszivattyús rendszer esetében a legkisebb, míg az elektromos árammal vagy biomasszával történő fűtés esetében a legnagyobb. Ugyanakkor a biomassza-tüzelés nem fosszilis eredetű CO_2-ot bocsát ki, így ez kedvezőbb esetnek tekinthető.



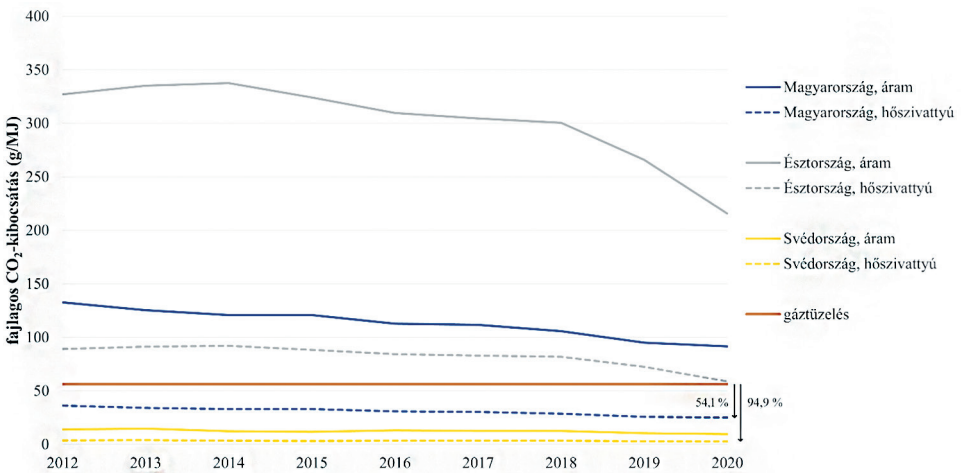
2. ábra
Napi szén-dioxid-kibocsátások a vizsgált rendszerekben [a szerzők]

A bivalens alternatív rendszerek esetében a bivalenciapont alatt a CO_2-kibocsátás a külső energiaforrás kibocsátásának megfelelő, azaz a vizsgált viszonyok között jelentős a növekedés, míg bivalens párhuzamos rendszerekben a növekmény mérsékelt (2. ábra). Éves összesítésben a legtöbb vizsgált rendszernek továbbra is kisebb a CO_2-kibocsátása, mint a gáztüzelésnek, a jellemző CO_2-kibocsátás-csökkenés 45–55%, de alternatív rendszerek és nagyobb bivalenciaponti hőmérséklet esetén a magyarországi energiamix mellett is nagyobb CO_2-kibocsátás várható, mint gáztüzelés esetén (3. ábra).



3. ábra
Éves szén-dioxid-kibocsátások a vizsgált rendszerekben [a szerzők]

Az európai országok áramtermeléshez kapcsolódó fajlagos CO_2-kibocsátása folyamatosan csökken, ami részben a megújulók részarányának növekedésével magyarázható (4. ábra). Az elsősorban megújulókat és atomenergiát használó országok esetében már jelenleg is kisebb CO_2-kibocsátással jár az elektromos árammal való fűtés, mint a földgáz használata, ezekben az országokban a bivalens rendszerekben az áram használata a legkedvezőbb kiegészítő fűtés, a CO_2-kibocsátás-csökkentés meghaladhatja a 90%-ot. Az áramtermelésben nagy fajlagos CO_2-kibocsátású országokban azonban jelenleg még hőszivattyús rendszerek használatával sem lehet a gáztüzelésnél kevesebb CO_2 kibocsátásával megoldani az elektromosáram-alapú fűtést.



4. ábra
A vizsgált országok elektromosáram-termeléséhez, valamint monovalens hőszivattyús rendszereihez kapcsolódó fajlagos CO_2-kibocsátás trendjei [2], [4] alapján

4. Összefoglalás

A hőszivattyús rendszerek segítségével magyarországi viszonyok között monovalens és bivalens párhuzamos rendszerekben 45–55% CO_2-emisszió-csökkenés érhető el. Bivalens alternatív rendszerekben ez az érték szignifikánsan kisebb, egyes esetekben nem is jelentkezik. A kapott eredmények jelentősen függnek az adott ország elektromosáram-előállítási forrásaitól, amelyekben folyamatos javuló tendenciák figyelhetők meg, így a bivalens hőszivattyús rendszerek CO_2-megtakarítási potenciálja is folyamatosan nő.

Felhasznált irodalom

[1] Buday T., Buday-Bódi E., „Reduction in CO_2 Emissions with Bivalent Heat Pump Systems," Energies, 16. évf., 3209. 2023. Online: https://doi.org/10.3390/en16073209
[2] EEA: Greenhouse Gas Inventories (UNFCCC). Online: https://bit.ly/49WUe9h

[3] EC: Clean energy for all Europeans package. Online: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en#energy-performance-in-buildings
[4] EUROSTAT Data Browser: Gross and Net Production of Electricity and Derived Heat by Type of Plant and Operator. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_PEH__custom_5175824/default/table?lang=en
[5] K. Ochsner, „Geothermal Heat Pumps. A Guide for Planning and Installing," London, Egyesült Királyság: Earthscan from Routledge, 2007, pp. 1–146.
[6] Szalai S. et al., „Climate of the Greater Carpathian Region," Final Technical Report. Online: www.carpatclim-eu.org

CO_2 Emission Reduction Potential of Bivalent Heat Pump Systems

The use of heat pumps is beneficial. By this, the share of fossil fuels in the energy mix and CO_2 emissions can be reduced. However, these effects highly depend on the type of the auxiliary energy used and the parameters of the heat pump system, including using monovalent or bivalent modes. For a certain building with a given heat demand, the achievable CO_2 savings compared to gas firing have been determined for three different operating modes, three different types of auxiliary energy and three different specific CO_2 emission values from electricity generation.

The reduction in CO_2 emissions associated with heat pump operation ranges widely. When operating in bivalent mode (bivalence point: 2 °C), the values are less favourable and several of the variants tested do not show emission reductions, especially when operating in alternative mode. However, the reduction of fossil CO_2 emissions in bivalent systems using biomass as a source of renewable energy and geothermal heat pumps is high (up to 56.7% for the Hungarian electricity mix), which is very similar to the reduction of carbon dioxide emissions in monovalent systems (54.1%).

Keywords: *geothermal heat pumps, monovalent systems, bivalent systems, CO_2 emission, gas firing, biomass*

Dr. Buday Tamás	Tamás Buday, PhD
egyetemi adjunktus	Senior Lecturer
Debreceni Egyetem	University of Debrecen
Természettudományi és Technológiai Kar	Faculty of Science and Technology
Földtudományi Intézet	Institute of Earth Sciences
Ásvány- és Földtani Tanszék	Department of Mineralogy and Geology
buday.tamas@science.unideb.hu	buday.tamas@science.unideb.hu
orcid.org/0000-0003-4599-5569	orcid.org/0000-0003-4599-5569

Budayné Bódi Erika, MSc
egyetemi tanársegéd
Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet
Víztudományi és Környezetinformatikai Tanszék

bodi.erika@agr.unideb.hu
orcid.org/0000-0003-2971-9214

Erika Buday-Bódi, MSc
Assistant Lecturer
University of Debrecen
Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management
Institute of Water and Environmental Management
Department of Water Science and Environmental Informatics
bodi.erika@agr.unideb.hu
orcid.org/0000-0003-2971-9214

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 95–100. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.10

Buday Tamás, Kyrillos Samir Ghattas

A mélyfúrás geofizikai adatainak digitalizálása hidrodinamikai modellezéshez

A részletes geológiai és hidrodinamikai modellek kialakításakor a rétegsoron túl szükség lehet a mélyfúrási geofizikai szelvények pontos ismeretére, amelyekkel releváns petrofizikai, rezervoármechanikai jellemzőket határozhatunk meg, és szerkezetföldtani elemeket azonosíthatunk. A mért adatok rögzítésére és tárolására évtizedeken keresztül hagyományosan papíralapú naplókat használtak, a modern számítógépes szoftverek azonban digitális adatsorokat igényelnek. Ezért szükséges a papíralapú kútadatok és mélyfúrási geofizikai szelvények digitalizálása, amely speciális geológiai vagy geofizikai szoftverekkel vagy képelemző szoftverekkel végezhető el. A kapott eredmények azonban függhetnek a választott módszertől, ezért elemzésükre szükség van.

Jelen kutatásban a Tiszacsege B-119-es fúrás papíralapú fúrási geofizikai görbéi alapján vizsgálunk lehetséges eljárásokat, a teljesen manuális rendszerektől a mesterséges intelligencia által támogatott rendszerekig. A kapott eredmények alapján az elvárt pontosság mellett nem rövidíthető le a geológus vagy a geofizikus szakértő digitalizáló vagy ellenőrző munkája, elsősorban a pontatlan rajzú görbék, a szkennelés során fellépő torzítások kiküszöbölése, az egymást fedő görbék és a skálaváltás során fellépő változások követése. Az információgazdag napló digitális formátumba történő konvertálásával kapott eredmények lehetővé teszik a hatalmas mennyiségű papíralapú kútfúrási napló adatainak hatékonyabb tárolását és újrafelhasználását a geológiai, hidrogeológiai, geotermikai, szénhidrogénipari modellezéshez.

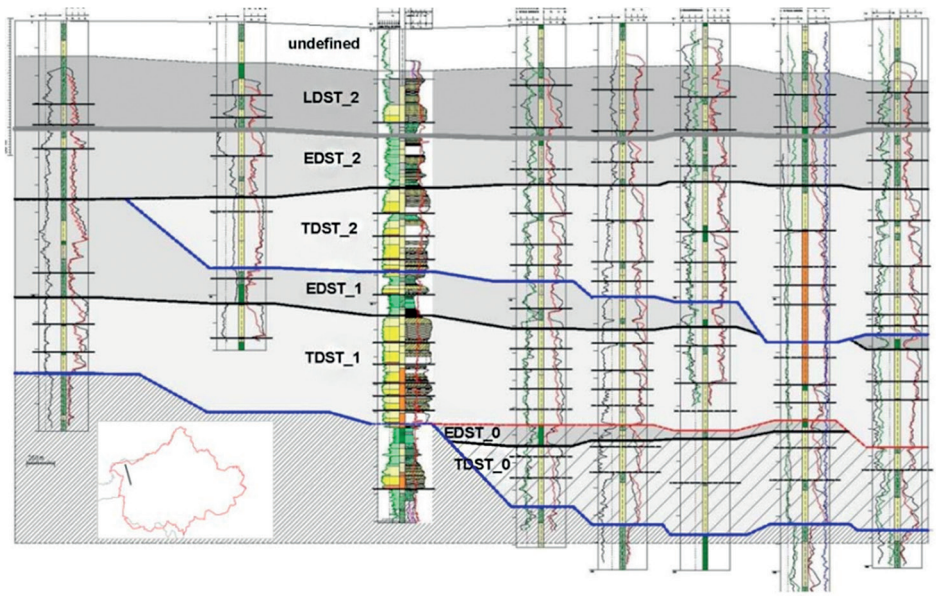
Kulcsszavak: *mélyfúrási geofizika, digitalizálás, hidrodinamikai modellezés, litosztratigráfia, NeuraLog*

1. Bevezetés

A víz- és szénhidrogén-termelés, a geotermikus energiahasznosítás kiemelkedő fontosságú technológiája a mélyfúrási geofizika [2]. A rétegsor litológiai jellemzői, a porozitás, a permeabilitás, a szénhidrogén-telítettség, a törések jelenléte és iránya is meghatározható segítségével. A nemzetközi geofizikai-kőolajipari vállalatok és szolgáltató cégek a geofizikai és geológiai kutatás és feltárás teljes folyamatában digitális kútadatokat használnak, köszönhetően a modern szondák digitális adatszolgáltatásának.

Magától értetődik, hogy a korábban elkészült, nem digitalizált naplók, lyukgeofizikai szelvények feldolgozása is számos előnnyel jár, különösen olyan területeken, mint Magyarország, ahol százezres nagyságrendű mélyfúrási geofizikai szelvény érhető el nem digitális formában.

A digitalizálás segít a földtani, szerkezetföldtani szelvények (1. ábra), térképek, folttérképek, izovonalas térképek elkészítésében, illetőleg részletesebb információt szolgáltat a litológiai egységek kiterjedéséről és jellemzőiről, például jellemző szemcseméret, porozitás, sűrűség, víztelítettség, amelyek a hidrodinamikai modellezésben is lényeges alapinformációk [1], [2], [3], [4].



1. ábra
Földtanimodell-építés geofizikai adatokkal, lehetséges hidrodinamikai modellrétegek kijelölésével [1]

A feldolgozás során számos gyakorlati kihívással szembesülünk, amelyek egy része manuálisan ugyan javítható, ez azonban gyakran veszélyezteti a digitalizálás gyorsaságát és automatizálhatóságát.

A geofizikai kutatásokban a saját, egyedi tervezésű szoftverek használata lehet a kulcs a kútadatok digitalizálásához és generálásához. Számos szoftver létezik a kútnaplók és más kapcsolódó adattípusok digitalizálására, ezek egyike a NeuraLog, amely az iparág úttörője a kőolajipar számára a kútadatok digitalizálására, szerkesztésére, feldolgozására és megjelenítésére szolgáló eszközök és szoftverek létrehozásában, ez az egyik legjobb szoftvercsomag a papíralapú eredetű kútnaplók digitalizálására [5], [6].

A modul a szkennelt kútnaplókat digitális kútadatformátumba (**.las* fájlkiterjesztés) konvertálja és digitalizálja, amelyet más geológiai és geofizikai szoftverprogramok használhatnak. A NeuraLog segítségével a naplózási adatok automatikusan digitalizálhatók, minőségileg javíthatók, szerkeszthetők és ellenőrizhetők. Ezenkívül ebben a programban megadhatók a szükséges naplóalapok, beleértve a fúrás helyének koordinátáira, mélységére és méretarányára vonatkozó információk, majd a szonda típusa és a kezelő adatai is.

Más szoftvermodulok, mint például a NeuraDesktop, a NeuraSection és a NeuraMap, képesek egy vagy több kút digitalizált és vizualizált adatainak megjelenítésére. A NeuraMap

például digitális térképek fejlesztését kínálja, lehetővé téve a rezervoárok lehatárolását, a térfogatszámítást a fúrási adatok felhasználásával.

A létrejövő digitális adatbázisok alkalmasak a tározók pontos jellemzése és modellezése, a felszín alatti képződmények megismerése céljából is, amellyel optimalizálhatók a fúrási és termelési műveletek. Az adatok könnyen kereshetők, válogathatók, értelmezhetők és elemezhetők, így az adatkezelés és az erőforrás-kezelés hatékony. Ennek segítségével azonosíthatók az adatokon belüli minták és trendek, döntéstámogatás nyújtható az érintettek számára, valamint ellenőrizhető a környezetvédelmi és biztonsági előírásoknak való megfelelés.

2. Módszerek

A vizsgálatok elvégzéséhez a Tiszacsege B-119-es fúrás geofizikai görbéinek szkennelt és több részletből montázsolt digitális képét használtuk fel. A fúrást 3 eljárás segítségével digitalizáltuk.

A Geogörbe nevű szoftvert a Debreceni Egyetemen fejlesztették [3], megfelelően előkészített raszteres képállományban az egymást nem metsző folytonos görbéket automatikusan követi, és a raszterpontok értékét a megadott skála és mélységadatok segítségével meghatározza, és egy szövegfájlt ad végeredményként. A kútadatok további adatfeldolgozás során Access-adatbázisban rögzítődnek, ahonnan kirajzoltathatók például SmartSketch szoftver segítségével.

Térinformatikai szoftverek is alkalmazhatók a görbék digitalizálására. Az adatokat tartalmazó kép georeferálható, így bizonyos torzulások hatásai csökkenthetők. A jól elkülönülő görbék esetén a raszteres állomány pixeljei kiolvashatók, illetőleg vektoros állomány hozható létre. Amennyiben nem különülnek el a görbék, szükséges a görbék vektoros állományba digitalizálása, majd a töréspontok koordinátáinak kiolvasása.

A NeuraLog az olaj- és gázipari ágazatban a kútadatok digitalizálására, feldolgozására, szerkesztésére, megjelenítésére és átalakítására szolgáló eszközök és szoftverek létrehozásának iparági úttörője [5]. A szoftvermodul a szkennelt papíralapú naplófájlokat digitális kútadatokká (**.las* kiterjesztés) alakítja át, amelyeket más geológiai és geofizikai szoftverprogramok használhatnak. A NeuraLog segítségével a jó minőségű geofizikai görbék automatikusan digitalizálhatók, minőségileg javíthatók, szerkeszthetők és ellenőrizhetők. Amennyiben a görbe minősége nem megfelelő, akkor szükséges átdigitalizálni. Ezenkívül ebben az alkalmazásban megadhatók a szükséges naplóadatok, beleértve a fúrás helyére vonatkozó információkat, a kút adatait (koordináták, mélység, méretarány), a méréseket, a fúrás kezdetét és végét, és így tovább.

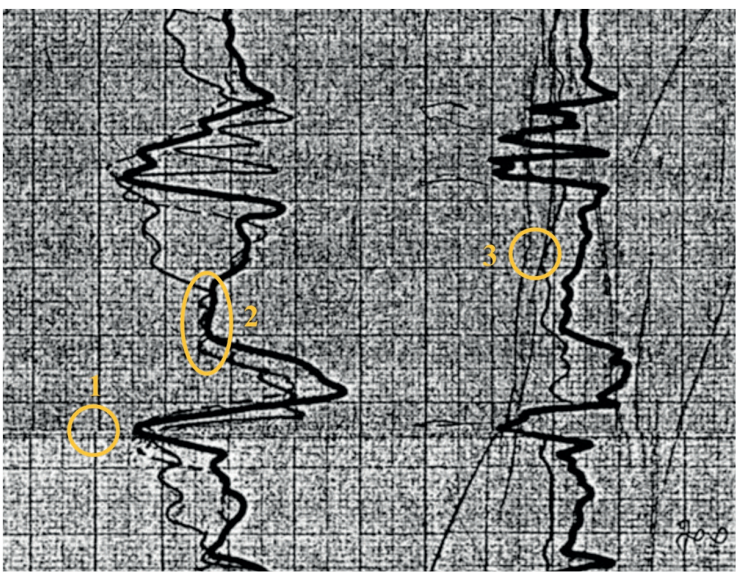
A kapott exportadatfájlokat a hidrodinamikai modellépítésben való alkalmazhatóság szempontjából vizsgáltuk.

3. Eredmények

A digitalizálás során azonosított, az automatizálást nehezítő vagy lehetetlenné tevő problémák az alábbiak:

- életlen, pontatlan görbék a korábbi optikai adatrögzítés vagy a sokszorosítás hibái miatt;

- megázás, elmosódás, foltok, gyűrődések: korábbi helytelen tárolás miatt a görbék egy része olvashatatlan, vagy új vonalak jelennek meg (2. ábra);
- kis kontraszt: a görbék a rácsoktól, a milliméterpapír beosztástól nehezen különülnek el (2. ábra);
- szkennelés, illesztés közbeni torzulások (2. ábra);
- az egymáson futó görbék takarják egymást, különösen az ellenállásgörbék esetén (2. ábra);
- eltérő vastagságú, illetve szaggatott görbék jelennek meg;
- skálaváltás során az eredeti görbe megszakad, a folytatása nem mindig pontos.



2. ábra
Néhány digitalizációt nehezítő probléma: 1. pontatlan illesztés; 2. egymást fedő, részben nem folytonos vonalak, amelyek a milliméterpapír beosztásától alig különülnek el; 3. gyűrődések nyomai, amelyek hasonlóan jelennek meg, mint a görbék [a szerzők]

A kézzel történő átrajzolás a fenti problémák jelentős részét kiküszöböli vagy a hatást jelentősen mérsékli, de egyrészt szubjektív, másrészt időigényes. Az automatikus követés előrajzolás nélkül nem működik elég hatékonyan, különösen a statisztikai bizonytalanságot is tartalmazó görbéknél. A raszterből történő kiolvasás esetén a mélységek egyenközűek, de a különbség a kép eredeti felbontásától függ. A vektoros állomány esetében a kiolvasás nem egyenközű. Egyenközű, adott értékű adatok igénye (például továbbszámolás) esetén mindkét esetben további lépések szükségesek az átskálázáshoz. A raszteres állományból történő kiolvasás esetén a maximumcsúcsok értékei csökkennek, míg a minimumcsúcsok értékei nőnek, a nagy sűrűségű csúcsok eltűnnek. A kapott eredmények alapján az automatizációval készült adatok elsősorban kvalitatív és félkvantitatív elemzésre alkalmazhatók.

4. Következtetések

A geofizikai mérések eredményei geológiai értelmezésének pontosságát a szoftveres adatfeldolgozás növeli. Az adatok pontossága az egyes elemzések esetében eltérő, de szemikvantitatív és kvalitatív elemzésre az összes vizsgált módszer megfelelő. A földtani és hidrogeológiai modellépítésben azonban ez általában elegendő pontosság.

A kútnaplók digitalizálása számos előnyt kínál az olaj- és gázipar, a víztermelés és geotermikus energiatermelés számára, többek között a jobb adatkezelést, a pontosságot, a jobb együttműködést és a hatékonyabb döntéshozatalt. Bár vannak kihívások, amelyeket figyelembe kell venni, a kútnaplók digitalizálásának jövője ígéretesnek tűnik a technológia, az adatelemzés és az új alkalmazások folyamatos fejlődésével.

Az egyik legjelentősebb előny, hogy hatékonyabb adatkezelést tesz lehetővé. Ezen túlmenően a digitális kútnaplók fejlett szoftvereszközökkel elemezhetők, amelyek olyan betekintést nyújthatnak a felszín alatti geológiába, amely a papíralapú naplókkal esetleg nem lett volna lehetséges. Ez pontosabb tározómodellezéshez és jobb fúrási műveletekhez vezethet.

A digitális kútnaplók könnyen kereshetők, rendezhetők, értelmezhetők és elemezhetők, ami megkönnyíti a geológusok és a mérnökök számára a mintázatok és a tendenciák azonosítását az adatokban.

A digitalizálás a különböző munkacsoportok és szervezetek közötti jobb együttműködést is lehetővé teszi. Mivel a digitális kútnaplók könnyen megoszthatók a különböző érdekelt felek, például geológusok, mérnökök és befektetők között az interneten keresztül, több fél számára egyszerűbbé válik az azonos adatokhoz való hozzáférés és azok értelmezése. Ez jobb döntéshozatalt és hatékonyabb erőforrás-gazdálkodást eredményezhet.

A technológia folyamatos fejlődésével a kútnaplók digitalizálásának jövője ígéretesnek tűnik. Az egyik feltörekvő trend és fejlesztési terület a gépi tanulás (ML) és a mesterséges intelligencia (AI) algoritmusaié, amelyek nagy mennyiségű kútnaplóadat elemzésére és olyan minták és trendek azonosítására használhatók, amelyek az emberi elemzők számára nem feltétlenül tűnnek fel azonnal. Ezek segítségével pontosabb hidrodinamikai modellek készíthetők, amelyek nagyban elősegítik a felelős vízkészlet-gazdálkodást is.

Felhasznált irodalom

[1] Demeter G. et al. szerk., „Szekvencia-sztratigráfiai alapú földtani kutatás Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében," Debrecen, Magyarország: Dominium, 2010, pp. 1–287.

[2] G. Asquith, D. Krygowski, „Basic Well Log Analysis," Tulsa, Amerikai Egyesült Államok: AAPG, 2004, pp. 1–244. Online: https://doi.org/10.1306/Mth16823

[3] Gyula G., Németh G., „Szoftverfejlesztés a vízadó képződmények adatbázis építéséhez és lekérdezéséhez" in A fenntartható vízgazdálkodás eszköztárának bővítése Mátészalka–Beregszász térségében, Püspöki Z., Lazányi J. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Westsik Vilmos Nyírségi Tájfejlesztési Alapítvány, 2005, pp. 9–36.

[4] Marton L., „Alkalmazott hidrogeológia," Budapest, Magyarország: ELTE Eötvös, 2009, pp. 1–626.

[5] NeuraLog Products. Online: www.neuralog.com/oil-and-gas-data-software-hardware-scan-digitize-print-well-log/

[6] Yuriy M. Vikhot, „Using Software for Digitizing and Visualizing Well Logging Data for Modelling in Geology". International Scientific and Practical Conference „Electronics and Information Technologies" (ELIT-2018), 2018. Online: https://doi.org/10.30970/elit2018.A03

Digitisation of Geophysical Well-Logs for Hydrodynamic Modelling

When building detailed geological and hydrodynamic models, it may be necessary to have an accurate knowledge of well-log geophysics beyond the lithology column, which identifies the relevant petrophysical features and fractures. Paper logs have traditionally been used for decades to record measurements, but modern computer software requires digital data sets. For this reason, it is necessary to digitize paper well data, which can be done using specialized geological or geophysical software or image analysis software. However, the obtained results may depend on the method chosen, so their analysis is necessary.

In this research, this procedure is presented based on the paper-based well-log curves of a Tiszacsege B-119 borehole, with the conversion of the information-rich log into digital format. Based on the results, the digitizing or controlling work of the geologist or geophysical expert cannot be shortened beyond the expected accuracy, mainly because of inaccurately drawn curves, the elimination of distortions during scanning, the presence of overlapping curves and scale changes. The results from converting the information-rich logs into digital format allow for more efficient storage and reuse of the huge amount of paper-archived well log data for geological, hydrogeological, geothermal, hydrocarbon modelling.

Keywords: *geophysical well-logs, digitisation, hydrodynamic modelling, lithostratigraphy, NeuraLog*

Dr. Buday Tamás adjunktus Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Földtudományi Intézet Ásvány- és Földtani Tanszék buday.tamas@science.unideb.hu orcid.org/0000-0003-4599-5569	Tamás Buday, PhD Senior Lecturer University of Debrecen Faculty of Science and Technology Institute of Earth Sciences Department of Mineralogy and Geology buday.tamas@science.unideb.hu orcid.org/0000-0003-4599-5569
Kyrillos Samir Ghattas PhD-hallgató Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar Földtudományi Intézet Ásvány- és Földtani Tanszék kyrillos.suliman@gmail.com orcid.org/0009-0005-2493-1381	Kyrillos Samir Ghattas PhD Student University of Debrecen Faculty of Science and Technology Institute of Earth Sciences Department of Mineralogy and Geology kyrillos.suliman@gmail.com orcid.org/0009-0005-2493-1381

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 101–108. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.11

Szilvási Marcell

Terepfelmérés és modellezés egyvonalas létesítmény megtervezéséhez

A Miskolci Egyetem sportközpontja területére tervezett rekortánborítású futókör megtervezése. A terepi geodéziai adatgyűjtés egy totál mérőállomás és a hozzá tartozó prizma segítségével történt meg. Az adatfeldolgozás és a terepi modellezés a Microsoft Excel, majd a Golden Software Surfer programmal történt. Három különálló nyomvonalterv készült el, amelyeknek vannak előnyei, hátrányai. Ezen tervek különböző nyomtávszélességeihez költségkalkuláció is készült árajánlatokra támaszkodva.

Kulcsszavak: *totál mérőállomás, földmérés, felszínmodellezés, Surfer, futópálya*

1. Bevezetés

A Miskolci Egyetem teljes sportközpontja körül korábban futókört terveztek, azonban technikai akadályok miatt annak kivitelezése meghiúsult. Ezt újragondolva rövidebb távú nyomvonal létrehozását szeretnék elérni a sportvezetők. A leendő pálya alakját a helyszíni terep, a kerítés határai, valamint a műszaki objektumok helyzete szabja csak meg. A pályát rekortánborítással tervezik lefedni, annak korszerű és sportolóbarát tulajdonságai miatt. Ennek a cikknek a tartalma a tervezés első fázisa, amely jó alapot biztosít egy későbbi kivitelezési pályázat sikeres elnyeréséhez. A terepi felmérésben TDK-munka keretében hallgatók segédkeztek. Ennek során elsajátították a műszerhasználatot, a terepi felmérési praktikákat, az adatfeldolgozás rejtelmeit és a szakszoftverek használatát. Későbbi tanulmányaik során pedig jól jöhet az a tapasztalat, amely egy munkafolyamat összetett leírásából és előadásából származik.

2. Terepfelmérés

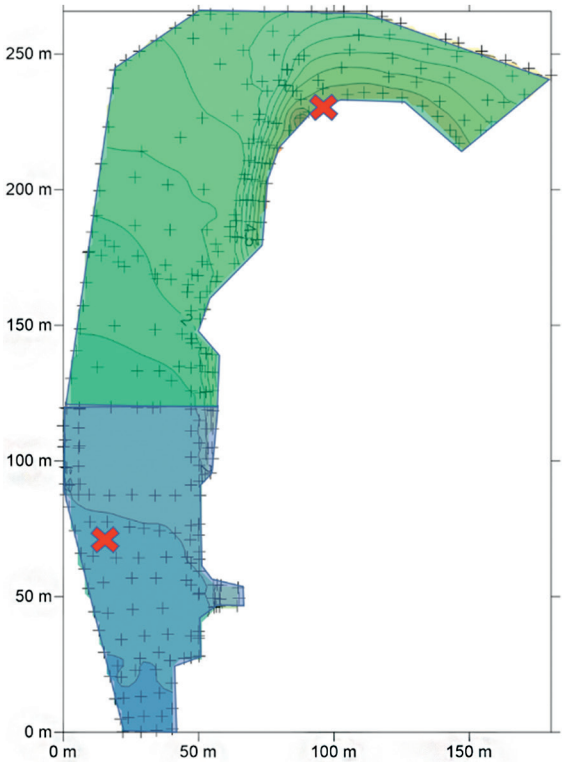
Az elsődleges feladat a terepi adatgyűjtés volt, hogy a tervezéshez nélkülözhetetlen magassági felszínmodell létrejöhessen. A méréseket egy Leica TS06 totál mérőállomással [2] és a hozzá tartozó lézeres prizma segítségével végeztük. A műszer ugyan lehetőséget biztosít a szabad felületekről való mérésre is, de a növényzettel borított felület nem teszi ezt lehetővé túl nagy elnyelőképessége és lehetséges folyamatos mozgása miatt. Valamint a műszer optikájának van az a tulajdonsága, hogy a pár méterre és az akár több kilométerre lévő objektumokat is ki lehet vele élesíteni. Azonban ezáltal nehéz megkülönböztetni benne a különböző távolságokra lévő,

ám hasonló kinézetű felületeket, ebből kifolyólag össze lehet téveszteni őket. Ezen jelenségek kiküszöbölésére kiváló megoldást ad a prizmarúdra rögzített prizmára való irányzás, amely egyértelműsíti a mérendő pont helyét, valamint jobb lézerfény-visszaverő képessége miatt még erősebb jeleket is kap a műszer. Az első ábrán látható a mérendő környezet egy része, valamint a mérőállomás a távolabb lévő prizmával egyetemben. Az időjárási körülmények szemmel láthatóan tökéletesek voltak. Szerencsére a szél sem fújt, ami megnehezítette volna a prizmarúd függőleges tartását. Ez a hibaforrás főként a x és az y koordinátánál okozhat gondot, a z esetében csupán milliméteren belüli eltérés lenne tapasztalható.

1. ábra
Terepi felmérés a mérőállomással prizmarúd segítségével [a szerző]

A rendelkezésre álló terület közel 1,6 hektár. Az elején ki kell választani az ideális helyet a mérőműszer számára, ahonnan a teljes felmérendő terület jól belátható. Sajnos ilyen pozíció csak a helyszín közvetlen szomszédságában lévő sportcsarnok tetején lett volna, ahová különböző engedélyek híján nem lehetett feljutni. Ezért két különálló műszerállást kellett kialakítani, ahonnan a teljes terület felmérhető volt. Ezek helyét az 2. ábrán piros keresztek jelölik, és az azokból felmért zónák helyét a zöld, illetve a kék szín mutatja meg.

A műszer tájékozása mindkét esetben helyi rendszerben történt. Ez annyit jelent, hogy a műszer egy helyi koordinátarendszer origójában van (y=0, x=0) és a kezdő 0 irány jelen esetben közel észak felé lett irányzás után beállítva. A mérés során a területet először a szélei mentén határoltuk felmért pontokkal, majd pedig a köztes részeket sűrítettük be további felmért pontokkal. A közel sík részeken ritkábban, a meredekebb zónákon sűrűbben történt a pontrögzítés. Összesen 340 pontot mértünk le. A két zóna (zöld és kék) határán egy egyenes mentén több rögzített pontot mindkét műszerállásból lemértünk azért, hogy össze lehessen illeszteni a két mérési adatrendszert.



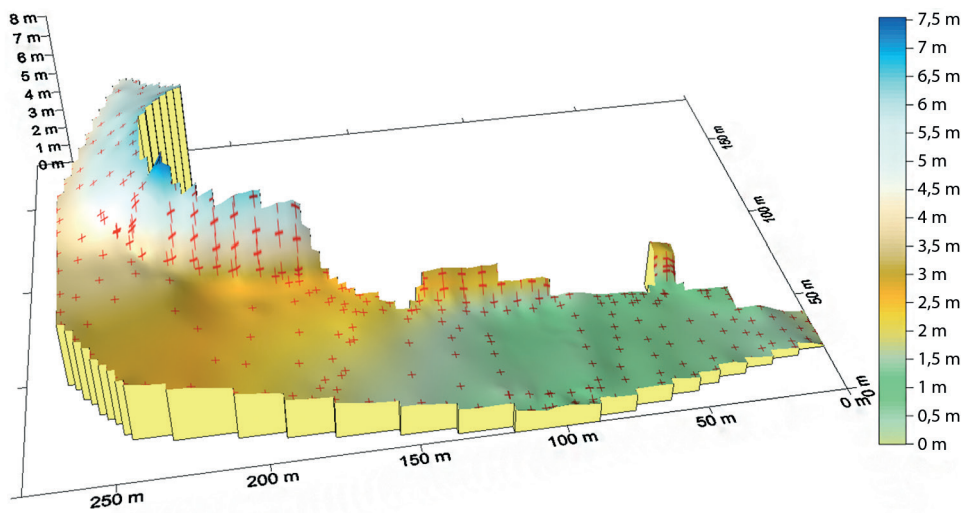
2. ábra
A két műszerállásból (piros X-ek) felmért pontok és az általuk bezárt terület szintvonalakkal [a szerző]

3. Adatfeldolgozás, modellezés

A két önálló felmérésből adódó pontsokaság önmagában megállja a helyét, ám ezeket össze kell csatolni az együttes kiértékeléshez. Az illesztőpontok segítségével ki lehet számolni, mekkora a két műszerállás közti y és x koordináta távolsága, illetve hány fokkal kell elcsavarni az egyik adatrendszert a másikhoz képest. A csavarást a helyi rendszer origójához mérten kell érteni. Minden pontnak van alapirányszöge, amely megadja, hogy az origóba párhuzamosan eltolt helyi rendszernek az x tengelye hány fokot zár be az origóból az adott pont irányába mutató vektorral, ha az óramutató járásával megfelelően forgatjuk el. Ezt az alapirányszöget a teljes pontrendszernek addig kell konstans értékkel növelnie vagy csökkentenie az iterációs folyamat során, amíg meg nem kapjuk a kívánt csatlakozását a két független felmért rendszernek, megfelelő ellenőrzésekkel biztosítva. Minden pontnak a távolsága az origótól kiszámolható a Püthagorasz-tétellel, amelyben az x és az y koordináta négyzetösszegéből vonunk gyököt. Ez a távolság nem fog változni a csavarás során, viszont szükséges az új koordináták

kiszámolásához, ahol poláris pontmeghatározással kapjuk meg a végeredményt. Ezen lépés után, hogy az első térnegyedbe kerüljön minden koordináta (ne legyenek negatív értékek), az irányonkénti minimumértékekkel kell eltolni pozitív irányba minden pontot. A z magassági koordináta egységesítése is hasonló módon történik, viszont itt nem kell az elcsavarodási szöggel számolni, így egyszerűbb az eljárás.

Az előállt egységes adatrendszert a Surfer szoftverben [5] megnyitva felületet lehet elkészíteni interpoláció segítségével. Jelen esetben a krigelés módszerét választottam. A programban lévő eljárás mindig téglalap alakú területet próbál meg kiszámolni nemcsak inter-, hanem extrapoláció segítségével. Ahol nincs mért adatunk, oda nem szabad eredményeket közölni, ezért a nem bemért területeket levágtuk a kapott felületről. Az elkészült felületmodell 3D képe a 3. ábrán látható, a piros keresztek a bemért pontok helyét jelölik rajta. A futópálya nyomvonalának tervezése során az x-y koordinátapár az elsődleges adat. A magassági értékeket a z koordináta tartalmazza, amelynek a térbeli változását szükséges tudnunk az ideális, felhasználóbarát futókör létrehozásához. Ugyanis egy túl meredek szakasz beiktatásával a kivitelezési munkálatok nehezülnek, és a könnyed sportolási lehetőségre vágyók kedve is csökkenne a leendő pálya használatával kapcsolatban.

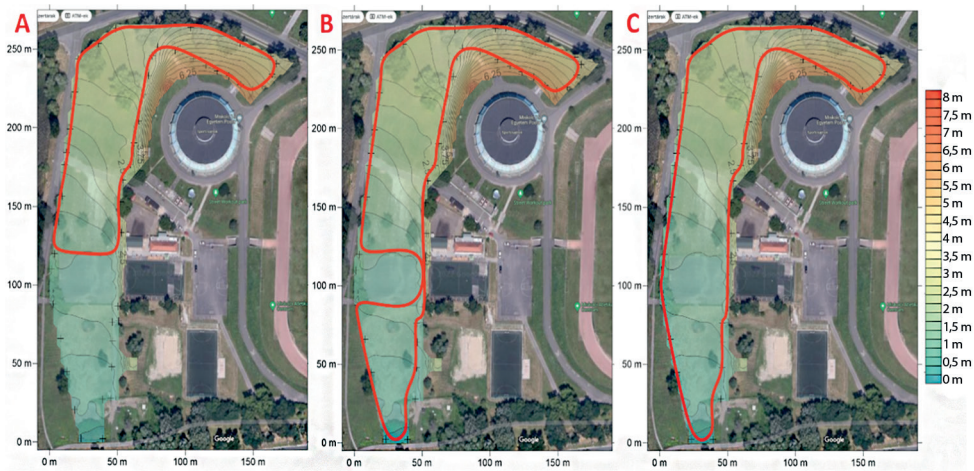


3. ábra
A felmért terület 3D-modellje [a szerző]

4. Nyomvonaltervezés

A leendő futópálya nyomvonalát a terület külső körvonala mentén érdemes megtervezni több okból kifolyólag. Akkor lesz a lehető leghosszabb, ha a külső peremen helyezkedik el, illetve ott a legkevésbé zavaró a területen végzett egyéb tevékenységet folytatók számára a futók jelenléte. A futópálya műszaki kivitelezését akadályozhatja néhány már meglévő tereptárgy.

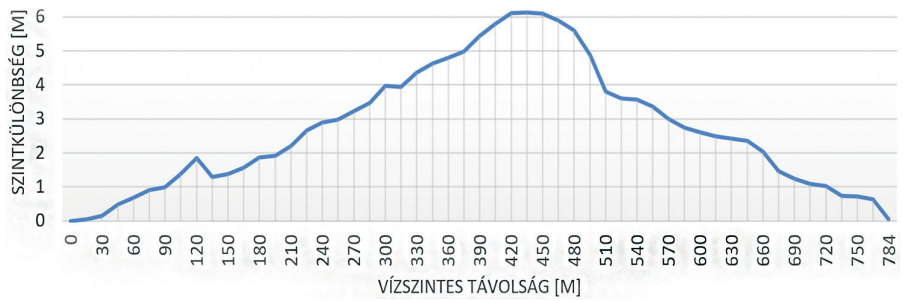
Az egyik egy körülkerített kosárlabdapálya pont a két felmért zóna határán. Ez nem okoz túl nagy gondot, mivel a két oldalán el lehet vezetni a nyomvonalat, azonban az egyik oldalán a kerítés és közte van egy kis, régi betongarázs. Ezt persze a sportközpontvezetők szerint le is lehet bontani, mert a kihasználtsága nem túl nagy. Ettől függetlenül pluszmunkát és nagyobb beruházási költséget jelentene ennek a kivitelezése. A kosárlabdapálya másik oldalán egy domboldal tövében aszfaltút van, amely épp ideális futópályaalapnak, viszont ha egy gépkocsi rámegy a rekortánborításra [4], akkor az tönkreteheti azt. Az egyes kompromisszumokat figyelembe véve három nyomvonal tervezése történt meg, amelyek a 4. ábrán láthatóak.



4. ábra
Az A, a B és a C terv nyomvonala pirossal jelölve a felülnézeti helyszínrajzokon [a szerző]

Az „A" terv a legrövidebb a maga 571 m hosszúságával, de kivitelezése egyszerű, mert nem érinti egyik műszaki akadály sem. A „B" terv nyomvonala nem érinti a garázst, hanem a kosárlabdapályát kerüli meg, ám így kétszer is érinti az aszfaltozott utat a pálya. A „C" terv kivitelezéséhez már a garázs lebontása is szükséges, vagy legalábbis a mellette való elhaladás biztosítása, viszont ez letisztultabb nyomvonalú, bár kicsit rövidebb, mint az előző variáció. Mindegyik változatban benne van az északi részen található emelkedő, amely izgalmassá teszi a futók edzését, valamint elhaladnak változatos fákkal és cserjékkel borított területek mellett is. Kellően nyugodt körülmények között lehetne a sportolási tevékenységet folytatni a szép egyetemi campus [3] ezen elkülönített területén.

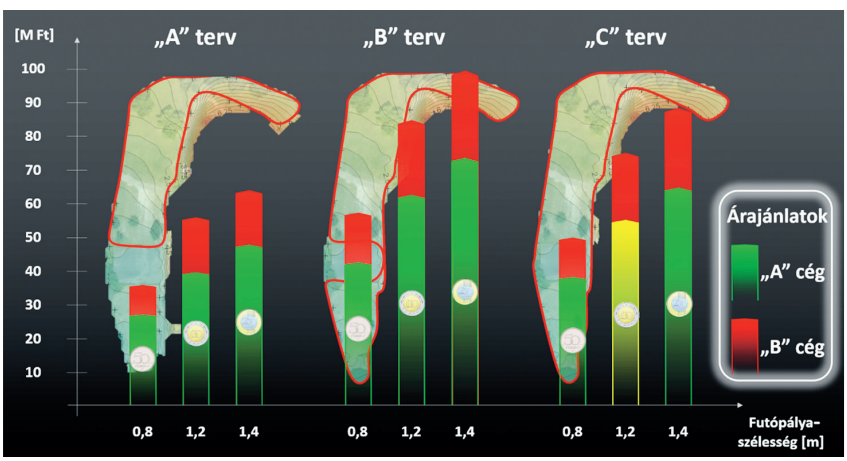
Az 5. ábrán láthatók a „C" terv nyomvonalának a szintkülönbségei a pálya egyes szakaszaira vetítve. A körcsarnok környékén hirtelen meredekebb emelkedő van. Átlagosan ez is csak 4%-os meredekségű, ami nem túlzó egy átlagos futónak sem, főleg hogy csak 50 m hosszúságú. A nyomvonal többi része közel síknak mondható, szinte észre sem volt vehető a terepszemlén a domborzat lassú emelkedése.



5. ábra
A „C" terv magassági nyomvonalterve a megtett távolság alapján [a szerző]

5. Költségkalkuláció

Az elkészült tervekhez két cégtől érkezett be árajánlat a teljes kivitelezésre különböző pályahossz- és -szélességi paraméterekre (6. ábra). A fő költséget a leborítandó felület szabja meg, így az „A" terv rövidsége karcsúsítja a költségeket, de ha már valamibe pénzt ölünk, akkor érdemes a teljes rendelkezésre álló helyet kihasználni. A pálya szélessége még kérdéses faktor. Ugyanis ha rend van a pályán, és minden futó ugyanolyan irányban használja, akkor lecsökken a találkozások száma, egyedül az előzéseknél okoz gondot, ha keskeny a futópálya. Ellenben ha mindkét irányban fogják használni egyszerre az emberek, akkor már közepes terhelésnél is kényelmetlen lehet a sok találkozás. Ezt a problémát megoldhatja a szélesebb változat, azonban költségoldalon ez súlyos szorzótényezővé válik. Szóba kerülhet olyan megoldás is, hogy csak a pálya egyes szakaszai lennének kiszélesítve, így az előzés itt könnyen megtehető. A mesterséges objektumokkal tarkított helyeken egyébként sem könnyen megoldható a széles nyomvonal.



6. ábra
Költségtervezet különböző pályaparaméterekre 2022 őszén [a szerző]

6. Összefoglalás

A tanulmány során felmértem földi geodéziai módszerekkel egy növényzettel borított területet további térinformatikai adatfeldolgozáshoz. A digitális terepmodellre különböző nyomvonalú futópályák tervei készültek el. Elsődlegesen a „C" terv 1,2 m széles változatát javaslom, amelyet az „A" cég előzetes kalkulációval számolva 56 millió forintért vállalt volna el 2022 őszén. Az árajánlat csak 2 hétig volt akkor érvényes, a magas infláció miatt. Miskolc városában egy központi parkban (Népkert) 84 millió forintból valósult meg [1] egy szintén rekortánborítású futókör 2022 nyarán. Ennek hossza 1 km, és saját mérés alapján 1,4 m széles. Ennek alapján reálisnak tűnik a kapott árajánlat egy kicsit rövidebb és keskenyebb pályának a megvalósítására. A műszaki kivitelezés elindítása esetleges apróbb változtatások után már csak a fenntartó döntésén múlik.

Felhasznált irodalom

[1] Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyei hírportál. Online: www.boon.hu/helyi-kozelet/2022/04/fekete-volt-salakszinu-lett-a-miskolci-nepkerti-futokor
[2] Leica TS06 total station instrument description. Online: https://totalstations.co/leica-flexline-ts06-flexible-total-station
[3] A Miskolci Egyetem honlapja. Online: www.uni-miskolc.hu/hirek/1958/ismet_a_miskolci_lett_magyarorszag_legszebb_campusa
[4] Mi az a rekortán burkolat? Online: www.gumitegla.hu/blog/mi-az-a-rekortan-burkolat/
[5] Surfer szoftverleírás. Online: www.goldensoftware.com/products/surfer

Field Survey and Modelling for Designing a Line Facility

Designing a synthetic running track planned for the sports centre of the University of Miskolc. The field geodetic data collection was done with the help of a total station and the corresponding prism. The data processing and modelling were done with Microsoft Excel and then with the Golden Software Surfer program. Three separate trail plans were prepared, which have advantages and disadvantages. For these plans, cost calculations for different widths were also made based on price offers.

Keywords: *total station, surveying, surface modelling, Surfer, running track*

Szilvási Marcell, MSc
egyetemi tanársegéd
Miskolci Egyetem
Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
Geodéziai és Bányaméréstani Intézeti Tanszék
marcell.szilvasi@uni-miskolc.hu
orcid.org/0009-0000-4900-2654

Marcell Szilvási, MSc
Assistant Lecturer
University of Miskolc
Faculty of Earth and Environmental Sciences and Engineering
Department of Geodesy and Mine Surveying
marcell.szilvasi@uni-miskolc.hu
orcid.org/0009-0000-4900-2654

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a terepi felmérésben és a későbbi adatfeldolgozásban részt vevő 3 elsőéves Műszaki Földtudományi BSc-s hallgatót (Holoda Erik Máté, Juhász Ákos és Nyiri Balázs).

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 109–115. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.12

Nagyné Kondor Rita

Mérnöktanárképzés, lemorzsolódás

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán a Debreceni Szakképzési Centrummal együttműködve folyik a mérnöktanárképzés, kooperatív képzési formában. A cikkben a leendő mérnöktanárok gyakorlati képzés során szerzett tapasztalatairól számolunk be, illetve arról, hogy a felsőoktatási tömegképzés hatására megjelenő heterogén hallgatói körrel együtt növekvő lemorzsolódás hogyan jelenik meg e képzés hallgatói körében.

Kulcsszavak: *műszaki oktatás, mérnöktanárképzés, tanítási eszközök, tanulási környezet, önértékelés, lemorzsolódás*

1. Mérnöktanárképzés a Debreceni Egyetemen

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán (DE MK) a mérnöktanári képzés 2019. szeptemberben újraindult, a Debreceni Szakképzési Centrummal együttműködve. A képzés szakirányai:

- gépészet-mechatronika;
- építő-építészet;
- környezetvédelem-vízgazdálkodás.

2023. szeptembertől új szakirányok indulnak:

- műszaki-gazdasági;
- elektrotechnika-elektronika.

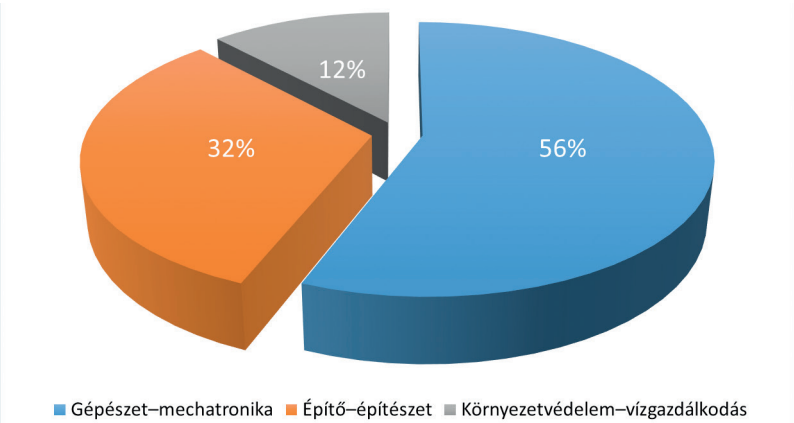
A kooperatív képzési forma előnye az, hogy a képzésben részt vevő vállalati szakemberek a korszerű szakmai tudást átadhatják a jövő mérnöktanárainak.

Az egyes szakirányokra való jelentkezés feltétele a megfelelő mérnöki BSc- vagy MSc-diploma. A képzés levelező tagozaton történik és alapvetően 4 féléves, de 3 és 2 féléves formában is működik az alapvégzettség szintjétől és a közoktatásban tanítással eltöltött időtartamtól függően.

A tanítási gyakorlatok száma, tartalma függ a képzési formától és a közoktatásban tanítással eltöltött időtől. A 4, 3 és 2 (nem kiegészítő) féléves képzés hallgatóinak a 2. félévben lévő iskolai tanítási gyakorlat után zárótanítást kell tartaniuk és a portfólió részeként önértékelést kell készíteniük. A portfólióban minden olyan dokumentumot összegyűjthetnek a tanárjelöltek, amely megvilágítja a képzés során szerzett tudásukat, fejlődésüket.

2. Gyakorlati képzés a mérnöktanárképzésen

Az 1. ábra mutatja a DE MK-n mérnöktanár szakon végzett hallgatók arányát szakirányonként. A hallgatók több mint fele (56%) gépészet-mechatronika szakirányon, 32%-uk építő-építészet és 12%-uk környezetvédelem-vízgazdálkodás szakirányon végzett. A 2. ábra mutatja a DE MK-n mérnöktanár szakon végzett hallgatók arányát képzési idő szerint. A hallgatók 30%-a 4 féléves képzésre jelentkezett, azaz BSc mérnöki végzettséggel rendelkezik. A legkevesebb hallgató (15%) 3 féléves képzésre járt, azaz legalább 5 évet dolgozott pedagógusi munkakörben közoktatási intézményben. A legtöbb hallgató 2 féléves képzésre járt, MSc mérnöki végzettséggel. A hallgatók 18%-a 2 féléves kiegészítő képzésre járt, BSc szakirányú mérnöktanári végzettséggel rendelkezett.

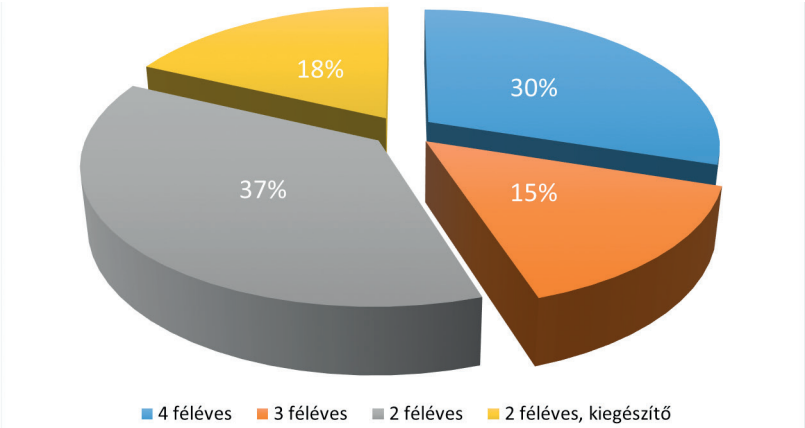


1. ábra
A mérnöktanár szakon végzett hallgatók aránya szakirányonként a DE MK-n, 2019–2023 [a szerző]

A mérnöktanárképzés része a vezető tanár irányításával végzett iskolai tanítási gyakorlat, amely a tanulók nevelésének, oktatásának, a szaktárgyakkal kapcsolatos tanári munkának a megfigyelésére irányul, illetve a gyakorlati képzés része még az összefüggő egyéni iskolai gyakorlat. E gyakorlaton a hallgatók a tanári munkát elemzik, és önállóan megtartott órák keretében bizonyítják a tanári pályára való felkészültségüket.

Tanulmányok vizsgálata szerint a tanárok térszemléleti képességei befolyásolják a tanítási gyakorlatukat, és ezáltal diákjaik térbeli képességeit is [3]. A műszaki képzésben a mérnöki, geometriai tárgyak elképzeléséhez jó térszemléletre van szükség [7], [8], [9]. Mivel a STEM[1] (természettudomány, technológia, mérnöki tudományok, matematika) -ismeretek és -készségek a térbeli készségekkel szoros kapcsolatban állnak, e terület vizsgálata a kutatások fókuszpontjává vált [10], [17]. E kutatások közül az egyik [15] arról számol be, hogy az alacsony, közepes és magas kezdeti térbeli készségekkel rendelkező diákok mind fejlődtek egy matematikai oktatási kísérlet hatására, de a kezdeti alacsony térszemléleti készség mérsékelte a fejlődést, míg a magasabb szintű kezdeti térbeli készségekkel rendelkező diákokra jóval nagyobb hatással volt a fejlesztés.

[1] STEM – Science, Technology, Engineering, and Mathematics.



2. ábra
A mérnöktanár szakon végzett hallgatók aránya képzési idő szerint a DE MK-n, 2019–2023 [a szerző]

A Covid–19-világjárvány miatti digitális oktatás néhány hallgató iskolai tanítási gyakorlatát érintette. Ők megtapasztalhatták a tantermen kívüli, digitális munkarend bevezetésével az online oktatás keretében a tanítási gyakorlatot [15]; az ő esetükben az információs és kommunikációs technológiai (IKT-) eszközök alkalmazása nélkülözhetetlen volt.

A mérnöktanárképzés hallgatói beszámoltak a portfólióban és az önértékelésben arról, hogy lelkesen alkalmaztak különböző tanítási módszereket tanóráik során [12], szemléltetésük általában változatos volt. A táblai vázlat mellett minden hallgató használt PowerPoint- vagy Prezi-prezentációt; volt olyan hallgató, aki további IKT-eszközt nem is használt, helyette csak hagyományos taneszközökkel dolgozott [13], [15]. A hallgatók jó része azonban további IKT-eszközt is alkalmazott, amelyek közül az animációs kisfilm, a LearningApps (feladatmegoldás) és a Kahoot! (feleletválasztós kvíz) volt leginkább jellemző [15]. A leendő mérnöktanárok jó része gyakorlótanítása után önértékelésében beszámolt arról, hogy úgy érzi, fejlődnie kell a változatos taneszközök használatában, és a jövőben tervezi tanítási módszerei bővítését. Általánosságban elmondható, hogy tudatosult bennük a folyamatos önértékelés, önreflexió fontossága.

A hallgatóknak a legnagyobb problémát a tanórai idővel való gazdálkodás jelentette; tanítási gyakorlatuk elején gyakran fordult elő, hogy több tananyagot, feladatot terveztek egy tanórára, mint amennyi a valóságban belefért. A tanítási gyakorlatok előrehaladtával az idővel való gazdálkodás egyre kevésbé jelentett problémát, egyre jobban be tudták osztani az időt.

3. Lemorzsolódás: okok, védőfaktorok

A felsőoktatási tömegképzés hatására megjelenő heterogén hallgatói körrel együtt megfigyelhető a növekvő lemorzsolódás jelensége, tehát nő a felsőoktatást végzettség nélkül elhagyók száma. A Felvételi Információs Rendszer 2014-es adatai szerint az alapképzésre jellemző a magasabb lemorzsolódási arány (36–38%), de sokan kifutottak a képzési idő eredeti keretei közül. A mesterképzésben általában 14–17% morzsolódik le [4]. Nagyobb

a lemorzsolódás a műszaki, informatikai, orvosi és agrárszakokon [12]. Kutatások eredményei szerint [6] nem a kognitív képesség az emberi élet sikere alakulásának lényeges tényezője; a magas IQ csak igen kis mértékben javítja az egyén pénzügyi sikerének esélyeit. A siker nemcsak a veleszületett képességeken múlik, hanem a tanítható készségeken is. A középiskola, majd az egyetem elvégzéséhez lényeges „nem kognitív" [6], [11] készségek szükségesek:

- szorgalom;
- lelkiismeretesség;
- önfegyelem (a jutalmazás elhalasztásának képessége);
- kitartás (egy terv végigvitele);
- jó tanulási szokások.

További kutatásokban [14], [16] is megjelenik a lemorzsolódás okaként a bizonyos személyiségtényezők (mint például a motiváció, az elkötelezettség) hiánya. Ez összhangban van az előzőekben említett kutatás „nem kognitív" készségeivel. A lemorzsolódás más okai [14], [16]:

- kognitív képességbeli korlátok és elmaradások;
- felkészületlenség a felsőoktatási életre, tanulási problémák;
- társadalmi háttér, az anyagi források hiánya. Az alacsonyabb jövedelmű családokból származó hallgatók esetén a lemorzsolódás kockázata a második-harmadik évben magasabb;
- az egyén nem integrálódik megfelelően az intézménybe [17]. Ezt az integrációt, beilleszkedést meghatározó tényezők [5]: családi háttér (szak-, intézményválasztásnál befolyás, anyagi támogatás), személyes jellemzők, tanulmányi teljesítmény, oktató-hallgató kölcsönhatások.

További kutatások szerint lemorzsolódással veszélyeztetett egy hallgató [2], [4], ha:

- nem az elsőként megjelölt helyre vették fel;
- költségtérítéses képzésre vették fel;
- korábban már félbehagyott egy képzést.

Védőfaktorszerepet játszhat a lemorzsolódás ellen [4], ha a hallgató emelt érettségit tett, vagy nyelvvizsgát szerzett (tanulási készség és motiváció).

További magyarázatként szolgálhat a lemorzsolódásra a felsőoktatásban tanulók életkörülményeiről, tanulási körülményeiről képet adó Eurostudent VII nemzetközi felsőoktatási hallgatói felmérés. A felmérésben részt vevő hallgatók csaknem háromnegyede jónak tartja személyes kapcsolatát az oktatóival, továbbá több mint hat tizedük azt érzi, hogy számíthat a segítségükre. Azonban alig több mint 50%-uk érzi azt, hogy az ő mondanivalója az oktatóknak számít [4]. A hallgatók 41%-a folyamatosan munkát vállal a tanulmányai mellett, jó részük napi 4 óránál többet dolgozik; a nappali képzésre járók negyede dolgozik folyamatos jelleggel. A munkát vállaló hallgatók közel fele anyagi okokból dolgozik, e fizetése nélkül nem tudna egyetemre járni [4].

A DE MK-n mérnöktanár szakon az utóbbi két évben a hallgatók 71%-a a képzés elvégzésekor tanárként dolgozott. A képzés idején tanító hallgatók 60%-a a tanítás előtt éveket dolgozott az iparban, a közigazgatásban. A hallgatók 29%-a nem tanított, de szeretne tanítani vagy a jelenlegi munkahelyén kamatoztatná a képzés során megszerzett tudást, például a duális képzés keretében. A DE MK-n mérnöktanár szakon a 2019–2023 tanítási években

34 hallgató végzett. Lemorzsolódott a beiratkozott hallgatók 15%-a, ami a mesterképzéshez kapcsolódó országos átlagnak megfelel. E képzés hallgatói szinte kivétel nélkül munka mellett végzik a képzést, levelező tagozaton. Diplomával már rendelkeznek, így a felsőoktatási életre felkészültek. A lemorzsolódást a felvázolt okok közül leginkább az anyagi források hiánya, bizonyos személyiségtényezők, nem várt események okozhatják.

4. Összegzés

A cikkben a leendő mérnöktanárok gyakorlati képzés során szerzett tapasztalatairól számoltunk be, illetve arról, hogy a felsőoktatási tömegképzés hatására megjelenő heterogén hallgatói körrel együtt növekvő lemorzsolódás hogyan jelenik meg e képzés hallgatói körében.

A mérnöktanárképzés hallgatói tanítási óráik során változatos munkaformákat alkalmaztak, a frontális osztálymunkán túl egyéni, illetve páros munkát, csoportmunkát és kooperatív munkaformát is. Órai szemléltetésük általában változatos volt, az IKT-eszközök használata motiválta, nagyobb aktivitásra bírta a tanulókat. Javasolt az oktatás affektív céljaira figyelni az eszközök, munkaformák választásakor: a tartós hozzáállásra az oktatási tartalmakhoz, a motiváltságra és a megértésre törekvésre.

A lemorzsolódással kapcsolatban összességében elmondható, hogy az alapképzésre jellemző a magasabb lemorzsolódási arány; a hallgatók kisebb hányada végez időben, és nagymértékű a tanulmányaikat lassúbb haladási ütemben folytató hallgatók aránya. A mérnöktanárképzésen a lemorzsolódás a mesterképzéshez kapcsolódó országos átlag szerint alakul. Főként az alapképzésre vonatkozóan a lemorzsolódás csökkentése érdekében történik a felzárkóztatás (a középiskolás tananyag későbbiekben szükséges elemeinek átismétlése), a pályaorientáció az átgondolt szakválasztás segítésére és a tanulást támogató anyagok kidolgozása.

Felhasznált irodalom

[1] D. Uttal et al., „How Can We Best Assess Spatial Skills?" Practical and Conceptual Challenges, 2023. Online: https://doi.org/10.31234/osf.io/ywc7m

[2] Fenyves V. et al., „Kísérlet a lemorzsolódás mértékének és okainak megragadására a Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar példáján," Neveléstudomány, 3. évf. pp. 5–14. 2017. Online: https://doi.org/10.21549/NTNY.19.2017.3.1

[3] F. Karaismailoglu, M. Yildirim, „The Effect of 3D Modeling Performed Using Tikercad or Concrete Materials in the Context of the Flipped Classroom on Pre-Service Teachers' Spatial Abilities," Research in Science & Technological Education, 2023. Online: https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2223134

[4] Hámori Á., „EUROSTUDENT VII gyorsjelentés – A felsőoktatási hallgatók jellemzői Magyarországon," Budapest, Magyarország: Oktatási Hivatal, 2021.

[5] Józsa G., „Lemorzsolódási kockázat és jelentkezés a felsőoktatásba," Képzés és gyakorlat, 18. évf. 1–2 sz. pp. 55–66. 2020. Online: https://doi.org/10.17165/TP.2020.1-2.5

[6] L. Borghans et al., „What Grades and Achievement Tests Measure," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113. évf. 47. sz. pp. 13354–13359. 2016. Online: https://doi.org/10.1073/pnas.1601135113
[7] Nagyné Kondor R., „Mérnöktanár-képzés – Taneszközök kiválasztása," International Journal of Engineering and Management Sciences, 8. évf. 1. sz., pp. 1–8. 2023. Online: https://doi.org/10.21791/IJEMS.2023.2.10.
[8] Nagy-Kondor R., „Spatial Ability, Descriptive Geometry and Dynamic Geometry Systems," Annales Mathematicae et Informaticae, 37. évf., pp. 199–210. 2010. Online: http://publikacio.uni-eszterhazy.hu/3195/1/AMI_37_from199to210.pdf
[9] Nagy-Kondor R., „Spatial Ability: Measurement and Development," in Visual-Spatial Ability in STEM Education: Transforming Research into Practice, Myint Swe Khine szerk. Springer, 2017. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_3
[10] Nagy-Kondor R., S. Esmailnia, „Polyhedrons vs. Curved Surfaces with Mental Cutting: Impact of Spatial Ability," Acta Polytechnica Hungarica, 18. évf. 6. sz. pp. 71–83. 2021. Online: https://doi.org/10.12700/APH.18.6.2021.6.4
[11] P. Tough, „How Children Succeed: Grit, Curiosity, and the Hidden Power of Character," New York, Amerikai Egyesült Államok: Mariner Books, 2012.
[12] Szabó F., „Riasztó lemorzsolódási adatok: van, ahol tízből négy hallgató otthagyja az egyetemet," Eduline, Felsőoktatás. 2018. Elérhető: https://eduline.hu/felsooktatas/muszaki_kepzesek_lemorzsolodas_U0DZNP
[13] Szanyi Gy., Nagyné Kondor R., Sipos D., „Módszertani gyakorlatok a mérnökképzésben," Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2019.
[14] Szemerszki M., „Lemorzsolódási adatok és módszertani megfontolások," in Lemorzsolódás és perzisztencia a felsőoktatásban, Pusztai G. és Szigeti F. szerk. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetemi, 2018, pp. 15–27. Elérhető: https://mek.oszk.hu/19000/19032/19032.pdf
[15] T. Lowrie, T. Logan, „Spatial Visualization Supports Students' Math: Mechanisms for Spatial Transfer," Journal of Intelligence, 11. évf. 6. sz. 127. p. 2023. Online: https://doi.org/10.3390/jintelligence11060127
[16] V. Tinto, „Leaving College: Rethinking the Causes and Cures of Student Attrition (2nd ed.)," Chicago, Amerikai Egyesült Államok – London, Egyesült Királyság: The University of Chicago Press, 1993. Online: https://doi.org/10.7208/chicago/9780226922461.001.0001
[17] V. Tinto, „Dropouts From Higher Education: A Theoretical Synthesis of Recent Literature," A Review of Educational Research, 45. évf. pp. 89–125. 1975. Online: https://doi.org/10.3102/00346543045001089

Vocational Teacher Training, Dropping Out

Teacher Training Programmes at the University of Debrecen, Faculty of Engineering in cooperation with Debrecen Vocational Training Centre provide teachers of Vocational Education and Training schools. At the end of the training the students wrote self-evaluation about their most significant experiences. The article deals with self-evaluation of prospective vocational teachers' after their practical pedagogical training and about the increasing dropout rate with the heterogeneous group of students emerging as a result of mass education in higher education.

Keywords: *engineering education, vocational teacher training, teaching aids, learning environment, self-evaluation, dropping out*

Dr. habil. Nagyné Kondor Rita	Rita Nagyné Kondor, PhD, habil.
egyetemi docens	Associate Professor
Debreceni Egyetem	University of Debrecen
Műszaki Kar	Faculty of Engineering
Műszaki Alaptárgyi Tanszék	Department of Basic Technical Studies
rita@eng.unideb.hu	rita@eng.unideb.hu
orcid.org/0000-0003-2462-9164	orcid.org/0000-0003-2462-9164

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 117–123. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.13

Nagyné Kondor Rita

A téri intelligencia szerepe a felsőoktatásban

Számos kutatás igazolta, hogy a téri intelligencia, a térbeli kapcsolatok megértése kulcsfontosságú a természettudományok, a technológia, a mérnöktudomány és a matematika (STEM)[1] *tanulása során és a problémamegoldásban. A felsőoktatásban számos szakterületen szükség van e képességre. A mérnöki munka alapvető feltétele a térben való tájékozódás. A cikkben arról számolunk be, hogy a Debreceni Egyetem mérnökhallgatói milyen eredményeket értek el a téri intelligencia vizsgálatakor, illetve milyen feladatokkal mérhetők és fejleszthetők e komponensek.*

Kulcsszavak: *műszaki oktatás, nemi különbségek, problémamegoldás, STEM, téri intelligencia, térszemlélet*

1. A téri intelligencia

A megfelelő szintű téri intelligencia, térszemlélet mindennapi tevékenységeinkhez kiemelten szükséges. Néhány példa, hogy hol használjuk a mindennapi életben a téri intelligenciát:

- mielőtt belépnénk a szobába kihozni egy tárgyat, elképzeljük, hogy az hol van a szobában;
- optimális helykihasználás: amikor bepakoljuk a bőröndünket, képzeletben megtervezzük, hogy a különböző tárgyak hogyan illeszkedhetnek egymáshoz, hogy minél több tárgy férjen el;
- a bútorok összeszerelésekor a leírást értelmeznünk kell, össze kell kapcsolnunk az utasításokban szereplő 2D-ábrákat a 3D-bútoralkatrészekkel;
- eligazodás a térképen, épületben a menekülési útvonal megtalálása.

A tervezőnek képzeletben látnia kell az adott épületet, tárgyat, mielőtt belekezd a terv elkészítésébe. Az építőmérnök elképzeli, hogy a különböző erők hogyan befolyásolhatják az építményt. A geológus képzeletben követi a tektonikus lemezek mozgását, a földképződés folyamatát. A sebész a műtét előtt képzeletben látja a műtendő területet a térben. Geometriai számítások elvégzéséhez az adott térbeli tárgyat a számítás egyszerűsítése végett elforgathatjuk képzeletben. A táncosok, tornászok is képzeletben végig követik mozgásukat a térben.

De mi is a téri intelligencia? Gardner [4] szerint hétféle intelligencia létezik: nyelvi, logikai-matematikai, téri, zenei, testi-kinesztetikus, interperszonális és intraperszonális intelligencia. Séra, Kárpáti és Gulyás [12, pp. 19] „térszemléleten két- és háromdimenziós

[1] STEM – Science, Technology, Engineering, and Mathematics.

alakzatok észlelésének és az észlelt információk és viszonylatok megértésének és téri problémák megoldására való felhasználásának képességét" értik. Tehát a téri intelligencia vagy térszemlélet kognitív komponensek komplex rendszere, amely a 3D-világ konstruált és észlelt képeinek összekapcsolására irányul [10].

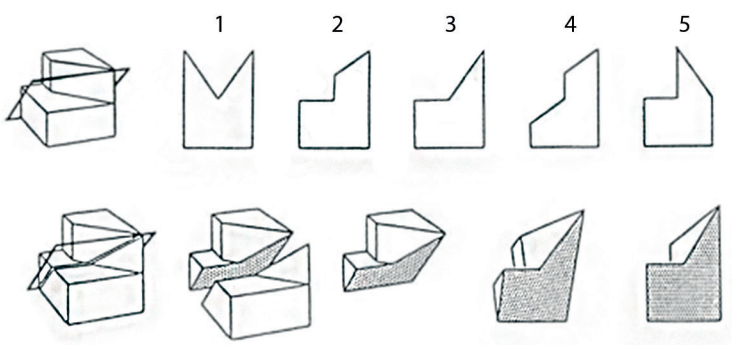
A térszemlélethez kapcsolódó feladattípusok [12]:

- vetületi ábrázolás és vetületolvasás;
- rekonstrukció;
- a szerkezet átlátása;
- 2D vizuális térelképzelés (a síkidom képzeletbeli felvágása, összeillesztése);
- a térbeli alakzat felismerése és megjelenítése;
- 3D-alakzatok összetartozó részeinek felismerése, párosítása;
- a 3D-alakzat képzeleti forgatása;
- a tárgy képzeleti manipulálása;
- téri konstrukciós képesség;
- dinamikalátás.

Kutatások szerint a téri intelligencia, a térbeli kapcsolatok megértése kulcsfontosságú a természettudományok, a technológia, a mérnöktudomány és a matematika (STEM) tanulása során és a problémamegoldásban [3], [5], [9], [11]. A felsőoktatásban számos szakterületen szükség van e képességre, például az anatómiában [8], a matematikában, a kémiában, a fizikában és a pszichológiában [3], [5], [7], [9], [10]. A mérnöki munka alapvető feltétele a térben való tájékozódás, hiszen még ma is a legtöbb műszaki dokumentáció 2D [6].

2. A téri intelligencia mérése

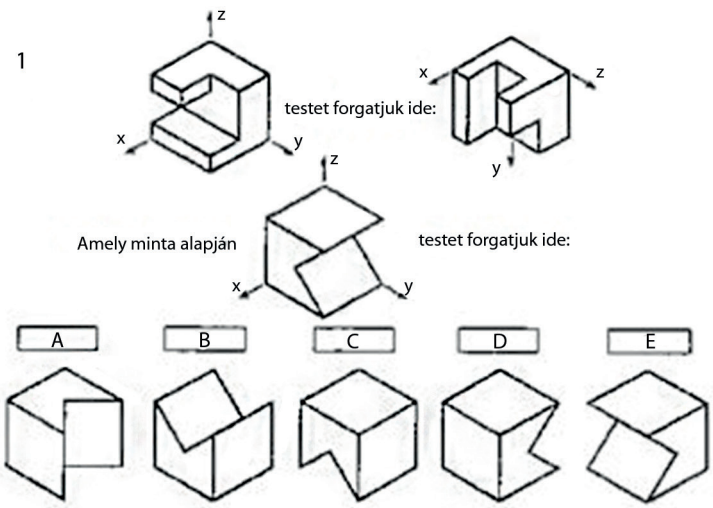
Létezik néhány nemzetközileg elismert teszt a téri intelligencia mérésére, de e feladatok gyakorlásával a térszemlélet fejleszthető is. A leggyakrabban használt teszt a Mental Cutting Test (MCT), amelyet az USA-ban 1939-ben fejlesztettek ki egy felvételi alkalmassági vizsga részeként [1]. A feladat a tárgy képzeletbeli manipulálása. Adott egy 3D-alakzat, amelyet képzeletben elmetszünk egy síkkal. 5 válaszlehetőség közül kell kiválasztani a metszési alakzatot (1. ábra).



1. ábra
MCT-mintafeladat és megoldása [1]

A Mental Rotation Test (MRT) szintén feleletválasztós teszt [13]. Az MRT-feladatokban egybevágó kis kockákból felépített testeket kell képzeletben forgatnunk. Adott egy test axonometrikus képe, 4 további lehetséges válasszal, amelyek közül kettő a kezdeti testet mutatja elforgatott pozícióban.

A Purdue Spatial Visualization Test – Visualization of Rotation (PSVT-R) [14], [15] feladatai a 3D-alakzat képzeleti forgatására irányulnak, az alakzatot kell azonosítani két nézőpontból ábrázolt képe alapján, mentális reprezentációk manipulálásával. Adott egy forgatási minta és egy másik test 5 alternatív nézettel, amelyek közül 1 a második test elforgatott képe, a példában mutatott forgatási minta alapján (2. ábra).



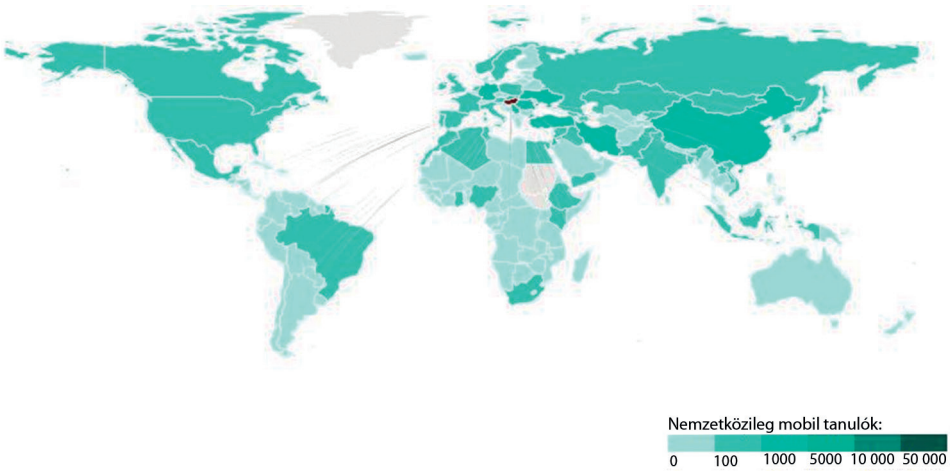
2. ábra
PSVT-R-mintafeladat [15]

A nők általában gyengébben szerepelnek a térszemléletmérő teszteken, mint a férfiak. A 2D-feladatoknál a különbség kisebb a nemek közt, mint a 3D-nál, jórészt a képzeletbeli forgatáshoz köthető teszteken szignifikáns a különbség. E különbség kortól és kultúrától függetlenül észlelhető. Annak ellenére, hogy számos kutatás vizsgálja a nemek közötti különbségeket, továbbra is ismeretlenek a pontos okai [3], [7], [9], [11].

3. Nemzetközi hallgatók a magyar felsőoktatásban

Az UNESCO[2] Statisztikai Intézete (UIS)[3] a felsőfokú képzés hallgatóinak globális áramlására vonatkozóan közölt adatai alapján a 3. ábra mutatja, hogy mely országokból érkeznek a külföldi hallgatók Magyarországra felsőfokú képzésre [2].

[2] UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: az Egyesült Nemzetek Nevelésügyi, Tudományos és Kulturális Szervezete.
[3] UIS – UNESCO Institute for Statistics.



3. ábra
A magyar felsőoktatásba érkező hallgatók [2]

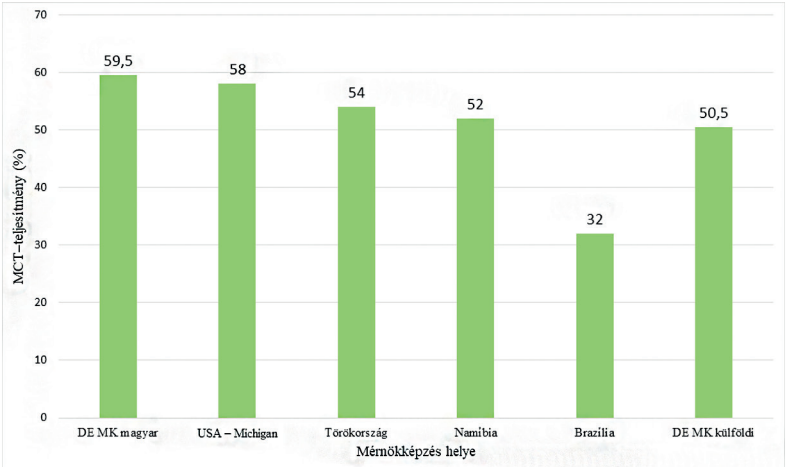
Ez alapján a 10 ország, ahonnan a legtöbb hallgató érkezik Magyarországra [2]:

- Németország 3449 fő;
- Kína 2776 fő;
- Románia 2593 fő;
- Szerbia 2209 fő;
- Irán 2024 fő;
- Szlovákia 1765 fő;
- Ukrajna 1207 fő;
- Törökország 1086 fő;
- Jordánia 981 fő;
- Nigéria 896 fő.

A hallgatói mobilitás UIS-adatai mutatják a felsőoktatás iránti kereslet változását [2].

4. Felmérés

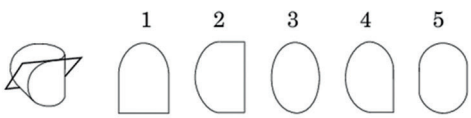
Vizsgálatunk során 43 fő elsőéves, külföldi hallgató térszemléletét vizsgáltuk a Debreceni Egyetem Műszaki Karán, akik 17 különböző országból érkeztek (Ázsiából és Afrikából). A vizsgálat a 3D-alakzatok összetartozó részeinek felismerésére irányult, a képzeletbeli síkmetszés helyességét MCT-teszttel mértük fel. Az eredményeket nemzetközi adatokkal vetettük össze [3] (4. ábra).



4. ábra
MCT-eredmények [a szerző]

Kutatások alapján [3] átlagosan 60% körüli eredményt érnek el az amerikai, ausztrál és európai hallgatók. Afrikában (Polytechnic of Namibia) ennél szignifikánsan alacsonyabb eredményt értek el a mérnökhallgatók [3]. Egy előző felmérésen a magyar hallgatók 59,5%-os eredményt értek el, igazodva az amerikai, európai eredményekhez. A jelenlegi felmérésen az egyetem külföldi hallgatói 50,5%-os eredményt értek el. Ezért térszemléletüket a képzés elején fejleszteni szükséges az 1. fejezetben említett térszemlélethez kapcsolódó feladattípusok segítségével, hogy igazodni tudjanak a mérnökképzés elvárásaihoz. E fejlesztés a magyar hallgatók esetében is hasznos.

A legnehezebbnek az 5. ábra feladatát találták a hallgatók. A magyar hallgatók 33%-a, a külföldi hallgatók 9%-a találta meg a helyes választ e feladatnál. A leggyakoribb helytelen válasz a 2 és a 4 volt, tehát mindenképpen egyenes vonalat feltételeztek a síkmetszeten.



5. ábra
A legproblémásabb feladat a tesztben [1]

5. Összegzés

A téri intelligencia a képességek komplex rendszere, amely elengedhetetlen a mindennapi életben való boldoguláshoz és a mérnöki területeken való sikerességhez. A téri intelligencia szoros kapcsolatban áll a természettudományos, technológiai, mérnöktudományi és matematikai (STEM-) készségek fejlődési szintjével és az általános problémamegoldó képességgel is.

A mérnöki munkánál lényeges a mások által készített rajzok értelmezni tudása, a vetületi ábrák elkészítése, illetve vetületi képek alapján a tárgy axonometrikus képének elképzelése, elkészítése, a térben látás a rajzok alapján. A mérnökképzés számos tantárgyához szükséges a hallgatók megfelelő téri intelligenciája, ezért lényeges a téri intelligencia, térszemlélet egyes komponenseinek vizsgálatára, fejlesztésére figyelmet fordítani, továbbá az esetleges gondolkodási hibák feltárása, korrigálása.

Felhasznált irodalom

[1] „CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations," Developed by the College Entrance Examination Board, USA, 1939.

[2] Global Flow of Tertiary-Level Students. Online: https://uis.unesco.org/en/uis-student-flow

[3] H. K. Ault, S. John, „Assessing and Enhancing Visualization Skills of Engineering Students in Africa: A Comprehensive Study," Engineering Design Graphics Journal, 74. évf. 2 sz. pp. 12–20. 2010. Online: www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/view/197

[4] H. Gardner, „Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences," New York, Amerikai Egyesült Államok: Basic Books, 1983.

[5] J. Buckley, N. Seery, D. Canty, „A Heuristic Framework of Spatial Ability: a Review and Synthesis of Spatial Factor Literature to Support its Translation into STEM Education," Educational Psychology Review, 30. évf. 3 sz. pp. 947–972. 2018. Online: https://doi.org/10.1007/s10648-018-9432-z

[6] Katona J., „Entwicklung des räumlichen Vorstellungsvermögens an technischen Universitäten," in Theoretische und empirische Analysen zum geometrischen Denken: Mathematiklernen und-lehren in Ungarn 3, Vásárhelyi É., J. Sjuts szerk. Münster, Németország: WTM-Verlag, 2021, pp. 153–160. Online: https://doi.org/10.37626/GA9783959872003.0.09

[7] Makádi M., „A téri képességek fejlesztése: Segédanyag a gyakorló iskolákban, a külső képzési helyeken a földrajztanárképzésben részt vevők számára," Budapest, Magyarország: ELTE TTK, 2015.

[8] M. A. Vorstenbosch et al., „Learning Anatomy Enhances Spatial Ability," Anatomical Sciences Education, 6. évf. 4. sz. pp. 257–262. 2013. Online: https://doi.org/10.1002/ase.1346

[9] Nagy-Kondor R., „Gender Differences in Spatial Visualization Skills of Engineering Students," Annales Mathematicae et Informaticae, 46. évf. pp. 265–276. 2016. Elérhető: http://publikacio.uni-eszterhazy.hu/3267/1/AMI_46_from265to276.pdf

[10] Nagy-Kondor R., „Spatial Ability: Measurement and Development," in Visual-Spatial Ability in STEM Education: Transforming Research into Practice, Myint Swe Khine szerk. Springer, 2017. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_3

[11] Nagy-Kondor R., S. Esmailnia, „Polyhedrons vs. Curved Surfaces with Mental Cutting: Impact of Spatial Ability," Acta Polytechnica Hungarica, 18. évf. 6. sz. pp. 71–83. 2021. Online: https://doi.org/10.12700/APH.18.6.2021.6.4

[12] Séra L., Kárpáti A., Gulyás J., „A térszemlélet. A vizuális-téri képességek pszichológiája, fejlesztése és mérése," Pécs, Magyarország: Comenius, 2002.

[13] S. G. Vandenberg, A. R. Kuse, „Mental Rotations, a Group Test of Three Dimensional Spatial Visualization," Perceptual and Motor Skills, 47. évf. pp. 599–604. 1978. Online: https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599
[14] T. Branoff, „The Effects of Adding Coordinate Axes to a Mental Rotations Task in Measuring Spatial Visualization Ability: An Information-Processing Approach Relating to Teaching Methods of Undergraduate Technical Graphics Education," Doctoral Dissertation, Norht Carolina State University, 1998.
[15] T. Branoff, P. Connolly, „The Addition of Coordinate Axes to the Purdue Spatial Visualization Test – Visualization of Rotations: A Study at Two Universities," Proceedings of the American Society for Engineering Education Annual Conference, 1999.

Spatial Intelligence in Higher Education

According to studies spatial intelligence and understanding of spatial relationships are crucial in learning Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) and in problem solving. This ability is needed in many fields of higher education. The basic condition of engineering work is orientation in space. This report investigated the spatial intelligence of engineering students at the University of Debrecen, and the measurement and development of components of spatial intelligence.

Keywords: *engineering education, gender differences, problem solving, STEM, spatial ability, spatial intelligence*

Dr. habil. Nagyné Kondor Rita
egyetemi docens
Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Műszaki Alaptárgyi Tanszék
rita@eng.unideb.hu
orcid.org/0000-0003-2462-9164

Rita Nagyné Kondor, PhD, habil.
Associate Professor
University of Debrecen
Faculty of Engineering
Department of Basic Technical Studies
rita@eng.unideb.hu
orcid.org/0000-0003-2462-9164

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 125–132. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.14

Palik Mátyás, Szabó Balázs

A hagyományos légi járművek és a nagy méretű drónok integrált működése ellenőrzött repülőterekről

Kétségtelen, hogy a repülést kiszolgáló legbonyolultabb földi infrastruktúrák az ellenőrzött repülőterek, amelyek irányítói körzeteit és közelkörzeti irányítói körzeteit csak kivételes esetekben használhatják drónok. Igen szigorú szabályozással, valamint időben és térben történő elkülönítés mellett lehetségesek csak azok a műveletek, amelyeket a fenti területeken és azok felett hajthatnak végre a pilóta nélküli légi járművek.[1] *Az napjainkban már világosan látható, hogy a dróntechnológiában rejlő potenciál néhány éven belül kiköveteli a nagy méretű, pilóta nélküli légijármű-rendszerek*[2] *számára a légi forgalmi irányító szolgálatok tevékenységével biztosított, ellenőrzött repülőterek használatát. A szerzők hazai forrásból finanszírozott KFI-pályázat részeként kutatják, hogy milyen eljárások szükségesek a hagyományos légi járművek és a nagy méretű drónok ellenőrzött repülőterekről történő biztonságos és hatékony működéséhez.*

Kulcsszavak: *ellenőrzött repülőtér, pilóta nélküli légi jármű, UAV, UAS, drón*

1. Bevezetés

Amikor a modern, piaci és szabadidős felhasználású drónok megjelentek a piacon, nem kis nyugtalanságot keltettek a repülőgépes társadalomban. A tartózkodó, elutasító magatartás elsősorban a hagyományos légi közlekedés biztonságának szavatolása, a levegőben bekövetkező ütközések elkerülése érdekében keletkezett.

A repülőterek üzemeltetői különösen aggódtak a drónok miatt, mivel azok a le- és felszálló repülőgépeket különösen veszélyeztetik, főként, ha nem hivatásos drónkezelők üzemeltetik azokat. A problémák talán legjobb példái a 2018 decemberében a Gatwick repülőtéren történt drónincidensek voltak. A lehetséges veszélyre reagálva a repülőtér vezetése lezárta valamennyi futópályát és felfüggesztette valamennyi induló és érkező járatát [1].

Szerencsére a félelemről szóló narratíva napjainkra kezd megváltozni. Ennek fő oka, hogy az UAS-innováció tovább csökkenti a költségeket és javítja a hatékonyságot, így nehéz figyelmen kívül hagyni előnyeit. Az idő, pénz és fokozott biztonság miatti nyomás erősödésével a repülőtereknek gyorsan alkalmazkodniuk kell a drónokhoz. Az üzemeltetőknek be kellett látniuk, hogy számos olyan munkafolyamat van egy repülőtéren, amelyet a hagyományos

[1] UA – Unmanned Aircraft.
[2] UAS – Unmanned Aircraft Systems.

eszközöknél hatékonyabban tudnak megoldani az úgynevezett munkadrónok. A teljesség igénye nélkül ezek közé a feladatok közé tartoznak: futópálya- (FOD-)[3] ellenőrzés; a repülőtéri berendezések ellenőrzése; a légi járművek jégtelenítése; őrzési-védelmi feladatok; logisztikai szállítások; létesítménykezelés, illetve madár- és vadvédekezés.

A Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség hat fő technológiai trendet vázolt fel, amelyek hatással lesznek a jövőben a légi fuvarozásra. Ezek között találjuk a kiterjesztett valóságot; a robotikai és automatizált rendszereket; az IoT-t és az összekapcsolt áruszállítást; a *big datát* és a mesterséges intelligenciát; a környezetbarát épületeket; valamint a drónokat és az autonóm járműveket [2].

A jövő repülőtéri műveleteiben azonban nem csak munkadrónok lesznek nagy számban. Gondoljunk csak a nagy méretű, merev szárnyas HALE-[4], MALE-[5]kategóriájú drónokra. Ezek a biztonságos üzemeléshez, a földi mozgáshoz futópályát, gurulóutakat és előtereket vesznek igénybe. Műszaki kiszolgálásukhoz hangárkomplexumok és speciális karbantartó eszközök, valamint nagyszámú kiképzett személyzet szükséges. A repülőtéren és a levegőben történő biztonságos működésük magas szintű légi forgalmi irányító-[6], meteorológiai, navigációs és kommunikációs rendszereket, illetve szolgáltatásokat feltételez.

Mivel a repülőterek kialakítása, megépítése hosszú ideig tartó és igen költséges folyamat, a drónműveletek hatékonyságának növelése érdekében természetesnek tűnik, hogy a HALE-/MALE-rendszerek számára magas szintű szolgáltatásokkal rendelkező, a hagyományos légi járművek üzemelését is ellátó, ellenőrzött repülőterek lehetnek opciók.

1. ábra
Az amerikai légierő RQ-4 drónja a japán Misawa légibázison landol [3]

[3] Foreign Object Debris – idegen tárgy/törmelék.
[4] High Altitude Long Endurance – nagy magasságú, hosszú repülési időtartamú.
[5] Medium Altitude Long Endurance – közepes magasságú, hosszú repülési időtartamú.
[6] ATC – Air Traffic Control.

2. Tudományos előzmények

A téma viszonylag szűk körben ugyan, de kutatott, nemzetközi és hazai szintű publikációk is megtalálhatók közöttük, amelyek általában valamilyen kutatási-fejlesztési projekt végtermékei.

Az Egységes Európai Égbolt kezdeményezés légi forgalmi szolgáltatáshoz kapcsolódó kutatásai körében 2022-ben befejeződött, INVIRCAT nevű projekt céljai közé tartozik az operatív és technikai követelményeknek megfelelő átfogó, magas szintű rendszer létrehozása és az az eljárásrend, amely lehetővé teszi a drónok biztonságos integrálását a légi forgalmi irányítói eljárásokba a műszeres repülési szabályok szerint üzemelő repülőtereken [4]. A [5] projekttanulmányban a TMA-ban történő UAS-üzemeltetéshez kapcsolódóan fogalmaznak meg különböző alternatívákat, követelményeket, hatásokat és fejlesztési lehetőségeket. A D4.2 INVIRCAT-dokumentumban a műszeres repülési szabályok integrációjára vonatkozó követelmények teljes listájának összeállítása történik meg [6].

A [7] jelentésben a kutatók az UAS-ről, valamint azok lehetséges használatáról és a repülőterekre gyakorolt hatásáról adnak tájékoztatást a különböző méretű repülőtereknek. A jelentés tartalmazza az üzemeltetés jelenlegi helyzetének hátterét, a drónok használatának előnyeit, szabályozási és közösségi megfontolásokat, az infrastruktúrával és üzemeltetéssel kapcsolatos megfontolásokat, a biztonsági és védelmi kérdéseket. Ugyanezen projekt egy másik kutatási programjának célja, hogy megértse a UAS-használat mértékét, beleértve a konkrét alkalmazásokat is, három csoportban: repülőterek, repülőtéri vállalkozók és bérlők által. A 130 repülőtér válaszait felhasználó jelentés egyik megállapítása az, hogy a részt vevő repülőterek körülbelül 9%-a használ aktívan UAS-t repülőtéri célokra. Az USA-ban folyó Repülőtéri Együttműködési Kutatási Programban a repülőterek és pilóta nélküli légi járművek kutatási jelentése a repülőterek számára nyújt iránymutatást a repülőtéri rendszerekről a repülőterek közelében végzett repülőtéri műveletek irányítása és az érdekelt felek bevonása, a repülőtéri infrastruktúrába és tervezésbe történő beépítés, valamint a repülőtéri üzemeltetők által történő potenciális felhasználás területén [8], [9], [10], [11].

A [12] publikációban a szerzők bemutatják a drónok repülőtérről való üzemelésének előnyeit, hátrányait és egy magyarországi UA-modellrepülőtér létesítésének kezdeti lépéseit. Megfogalmazzák, hogy a drónok meglévő technikai tulajdonságaiból fakadó különbségei miatt a repülőterekről való alkalmazásuk is eltérő lehet. A [13] publikációban a szerzőpár egy ellenőrzött repülőtéren folyó, UA-üzemeléssel egybekötött szimuláció tapasztalatait írja le, amely során ATC-munkaterhelést is mérnek. A cikkben a rádiólevelezéssel kapcsolatos eljárásokról, az elsőbbség kérdéséről, a koordinációról, a VFR/IFR indulási és érkezési eljárásokról, szabványeljárásokról és az üzemeltetéssel kapcsolatosan felmerülő kérdésekről és hozzájuk tartozó ajánlásokról is olvashatunk. A [14] írásban a szerzők vizsgálják a drónok repülésbiztonsági kockázatait. A szerzők választ keresnek arra, hogy fenyegetést jelentenek-e, illetve milyen kimenetelei lehetnek, ha egy drón veszélyesen közelít meg egy hagyományos légi járművet, rosszabb esetben összeütközik azzal. Három fő témát vizsgálnak, az esetleges új szabályok, eljárások bevezetését, a drónok és a pilóta által vezetett hagyományos légi járművek kapcsolatát és a már létező technikai és műszaki megoldásokat.

Hazánkban a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap által finanszírozott TKP2021-NVA-16 azonosítószámú *Alkalmazott katonai műszaki, had- és társadalomtudományi kutatások a nemzetvédelem, nemzetbiztonság területén a Hadtudományi és Honvédtisztképző Karon* című projekt, az Integrált-mintarepülőtér nevet viselő kiemelt kutatási terület a hagyományos

és a pilóta nélküli légi járművek integrált, biztonságos és környezetkímélő repülőtéri üzemeltetési feltételeinek kialakítására fókuszál. Ezen belül a Virtual Airport nevű kutatócsoport az integrált repülőtéren történő biztonságos és optimális légi forgalom-szervezést és -üzemelést biztosító döntéstámogató megoldások és eljárások kidolgozását és tesztelését végzi, amelynek részeredményeiről a [15] publikációban számolnak be a szerzők.

3. A drónok repülőtéri műveletei

A fenti KFI-projekt részeként vizsgáltuk az integrált repülőtéren és annak körzetében működő drónok szabványeljárásait. Ehhez a hagyományos légi járművek és a nagy méretű drónok egyes műveleteit elemeztük, és összehasonlító elemzést végeztünk el. Ennek eredményeként megállapítható, hogy a drónok repülőtéri műveletei alapjaiban nem térnek el a hagyományos légi járművek műveleteitől.

Egy UAS repülőtéri környezetben történő alkalmazásának alapvető folyamatai az alábbiak lehetnek:

- előzetes felkészülés, a repülőtér megismerése, környezetelemzés. Akárcsak a hagyományos légi járműveknél, a drónok üzemeltetésénél is fontos, hogy a drónkezelők és -karbantartók megfelelő ismeretekkel rendelkezzenek a repülőtérről és annak körzetéről. Ismerniük kell a repülőtér működési és munkaterületeit, a helyi működési sajátosságokat, jellegzetességeket;
- földi előkészítés. A drón és a hozzá tartozó eszközök (kommunikációs és adatkapcsolat, indító- és visszatérő rendszerek stb.) előkészítése, ellenőrzése. Fokozott odafigyeléssel kell végrehajtani a repülésre történő felkészítést, amely során ellenőrizni kell az eszközök állapotát, a különböző fő- és tartalékrendszerek és -berendezések biztonságos működését. Ezek a műveletek már a gurulás végrehajtására és a repülésre való felkészítést szolgálják. Ennek kapcsán meg kell bizonyosodni arról, hogy a drón biztonságos repülésre kész állapotban van. Az előkészítés után a földi mozgás, a gurulás következik;
- ebben a fázisban már lényeges eltérések vannak a hagyományos és a pilóta nélküli légi járművek között. A drónokat ugyanis állóhelyükről a futópályára leggyakrabban vontatják valamilyen vontatójárművel. A futópályára érkezésnél le kell kapcsolni a drónt, és a vontatójárműnek el kell hagynia a futópályát. Ez a folyamat több percet is igénybe vehet, ami nem elhanyagolható a futópálya-foglaltság szempontjából.
- felszállás. Amennyiben az UA indítása a futópályán történik, az további pályafoglalási időt igényel. Ezt követi a nekifutás, majd a felszállás, amennyiben arra a légi forgalmi irányító megadta az engedélyt;
- a repülési feladat végrehajtása alapvetően a légi jármű repülési tulajdonságaitól és a feladat jellegétől függ. Amennyiben a repülés sürgős rendvédelmi, határvédelmi, katasztrófavédelmi feladat, akkor elsőbbséget kell biztosítani a küldetésnek;
- visszatérés a repülőtérre, megközelítés. Általában a műveleti területre történő kirepülési és az alkalmazott navigációs eljárásokat kell alkalmazni a légi jármű repülőtérre történő visszatérése során is. További megfontolandó elem a rendellenes vagy nem várt esemény, amely miatt a drónnak meg kell szakítania feladatát, és vissza kell térnie a repülőtérre. Ilyen lehet például egy repülés közbeni műszaki meghibá-

sodás, az adatkapcsolat elvesztése vagy az előre nem látható kedvezőtlen időjárási körülmények elkerülése. Nem minden pilóta nélküli rendszer rendelkezik azzal a képességgel, hogy kitérő repülőteret vegyen igénybe. A drón ugyanúgy elsőbbséget kérhet a kockázatok csökkentése érdekében, ha váratlan körülményekkel találkozik. A forgalom szabályos áramlása és a biztonságos elkülönítés fenntartása érdekében célszerű, ha az UA megközelítési eljárásai a repülőteret használó hagyományos légi járművekével megegyezik;

- leszállás. A futópályát használó drónok általában 2 típusú leszállási móddal rendelkeznek. Az egyik a kamerával segített leszállás, amikor a drónpilóta a pilótafülke szemszögéből látja a leszállás folyamatát, a másik az automatikus leszállási üzemmód, amikor a légi jármű előre meghatározott süllyedési profilt követ emberi beavatkozás nélkül. Sok UA (például az MQ-1 Predator) esetében a leszállás az egyik legbonyolultabb feladat, a repülés legnagyobb kihívást jelentő fázisa, főként rossz látási körülmények és erős szél esetén. Emiatt a drónok gyakran többször is megpróbálkozhatnak a megszakított megközelítést követően a leszállás végrehajtásával. Ezekben az esetekben a légi forgalmi irányításnak fel kell készülnie és képesnek kell lennie arra, hogy megfelelően elkülönítse a repülőgépeket a forgalmi körön;
- a futópálya elhagyása, gurulás az állóhelyre. A drónkezelő korlátozott repülőtéri helyzetismerete miatt a karbantartó személyzet egy tagja irányítja a légi járművet *(marshalling)* a kijelölt parkolóhelyre. Amennyiben a drón nem képes önálló manőverekre a repülőtéren, akkor ugyanúgy, mint a futópályára való gurulásnál, vontatójárműre van szüksége. Ebben az esetben a leszállás után figyelembe kell venni a vontatójármű futópálya-foglaltsági tényezőjét;
- az állóhely elérése, kikapcsolás. Az állóhely elérése után a fedélzeti rendszerek kikapcsolása és a hajtóművek leállítása következik. Ezt követően a karbantartó személyzet végrehajtja a repülés utáni ellenőrzéseket és a szükséges karbantartásokat.

A fentiekben felsorolt feladatok végrehajtásához nélkülözhetetlen a folyamatos üzemű, kiváló minőségű kommunikációs és adatkapcsolat biztosítása a drónkezelő és az ATC között. Az integrált repülőtéren történő üzemelés elengedhetetlen eleme egy többfunkciós ATM-/ATC-döntéstámogató rendszer, amely speciális funkcióival segíti a repülőtéren és annak közvetlen környezetében működő forgalom irányításában a légi forgalmi irányítókat.

4. Összefoglalás

A repülőtereknek az eredeti rendeltetése a hagyományos légi járművek kiszolgálása. Drónrepülőterekről olvashatunk, viszont külön repülőteret megtervezni és megépíteni főként a nagy méretű, merev szárnyas kialakítású drónok számára rendkívül időigényes és drága folyamat. Az ilyen drónok üzemelésére adott válasz egyértelműen a hagyományos légi járművek ellenőrzött repülőtéri forgalmába való beillesztésében rejlik. A nagy méretű drónok alkalmazása a hagyományos légi járművekkel egyidejűleg olyan terület, amely kevésbé kiforrott, azon a mai napig nemzetközi és hazai szinten is kutatások, fejlesztések folynak. Az igény adott, önvezető autókról, metrókról olvashatunk, és használhatjuk is azokat, viszont az ilyen szintű autonómia integrálása a légi közlekedési folyamatokba sokkal átfogóbb és összetettebb folyamat.

A kutatási projekt utolsó évében az elméleti eredmények gyakorlati megvalósításával foglalkozunk. Mielőtt azonban a hagyományos légi járművek és a drónok integrált működését valós körülmények között tesztelnénk, számos, különböző bonyolultsági fokú repülési szimulációt kívánunk futtatni 3D TWR-szimulátoron. A szimulátoros gyakorlatok kiértékelése és elemzése segíti elő a szükséges eljárásrend kialakítását az integrált földi és légi műveletekre. Hasznos információkkal szolgál a drónpilóták, a hagyományos légi járművek pilótái, a repülőterek üzemeltetői és a légi forgalmi szolgálatok számára.

Felhasznált irodalom

[1] A. V. Shelley, „Drone Registration Will Not Prevent Another Gatwick," 2019. Online: https://doi.org/10.2139/ssrn.3378277

[2] IATA: The Cargo Facility of the Future, March 2019. Online: www.iata.org/contentassets/7bb83c115fcd45a884f590ef1ba4b2a0/stb-cargo-white-paper-cargo-facility-future.pdf

[3] P. S. Ciccarone: RQ-4 Global Hawk Makes First Flight out of Misawa, June 12, 2014. Online: www.misawa.af.mil/News/Article-Display/Article/773461/rq-4-global-hawk-makes-first-flight-out-of-misawa/

[4] INVIRCAT: Current State of the Art and Regulatory Basis, D2.1, 01 February 2021. Online: www.invircat.eu/_files/ugd/743e39_47e850964ae54f33a9ce118b7a5ffa14.pdf?index=true

[5] INVIRCAT: Strategies on IFR RPAS Operations in the TMA: Alternatives, Requirements and Effects. Online: www.invircat.eu/_files/ugd/7cab8a_40579dd7ba9b419496f1712e7f8a3d1d.pdf

[6] INVIRCAT: Final Operational and Technical Requirements Definition. Online: www.invircat.eu/_files/ugd/7cab8a_251e478279bb4f07b26f299008635e2b.pdf

[7] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, „Unmanned Aircraft Systems (UAS) at Airports: A Primer," Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: The National Academies Press, 2015. Online: https://doi.org/10.17226/21907

[8] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, „Current Landscape of Unmanned Aircraft Systems at Airports," Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: The National Academies Press, 2019. Online: https://doi.org/10.17226/25659

[9] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, „Airports and Unmanned Aircraft Systems, Volume 1: Managing and Engaging Stakeholders on UAS in the Vicinity of Airports," Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: The National Academies Press, 2020. Online: https://doi.org/10.17226/25599

[10] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, „Airports and Unmanned Aircraft Systems, Volume 2: Incorporating UAS into Airport Infrastructure – Planning Guidebook," Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: The National Academies Press, 2020. Online: https://doi.org/10.17226/25606

[11] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, „Airports and Unmanned Aircraft Systems, Volume 3: Potential Use of UAS by Airport Operators," Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: The National Academies Press, 2020. Online: https://doi.org/10.17226/25607

[12] Vas T., Palik M., Nagy G., „Pilóta nélküli légijárművek repülőterekről történő alkalmazása," Honvédségi Szemle, 144. évf. 1. sz. pp. 73–82. 2016. Online: https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/716/707
[13] Vas T., Fekete Cs. Z., „UAV az ellenőrzött repülőtér forgalmában, avagy egy szimuláció tapasztalatai," Repüléstudományi Közlemények, 25. évf. 2. sz. pp. 371–383. 2013. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-28-Vas_Timea-Fekete_Csaba.pdf
[14] Gajdács L., Palik M., Dudás Z., „Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai," Repüléstudományi Közlemények, 33. évf. 1. sz. pp. 157–170. 2021. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.12
[15] Vas T., „A pilóta nélküli légi jármű-rendszerek integrálása a repülőtér forgalmába," Repüléstudományi Közlemények, 34. évf. 3. sz. pp. 145–166 2022. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2022.3.10

Integrated Operation of Conventional Aircraft and Large Drones from Controlled AirPorts

Undoubtedly, the most complex ground infrastructures serving aviation are controlled airports, whose control areas and terminal control areas can only be used by drones in exceptional cases. Only with strict regulation and separation in time and space can unmanned aircraft be allowed to operate in and over these areas. It is now clear that the potential of drone technology will, in a few years' time, require large unmanned aircraft systems to use controlled airports provided by air traffic control services. As part of a domestically funded RDI project, the authors are investigating the procedures required for the safe and efficient operation of conventional aircraft and large drones from controlled airports.

Keywords: *controlled airport, unmanned aircraft, UAV, UAS, drone*

Dr. Palik Mátyás	Mátyás Palik, PhD
katonai repülési dékánhelyettes, egyetemi docens	Vice-dean for Military Aviation, Associate Professor
Nemzeti Közszolgálati Egyetem	Ludovika University of Public Service
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar	Faculty of Military Science and Officer Training
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék	Department of Aerospace Controller and Pilot Training
palik.matyas@uni-nke.hu	palik.matyas@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-2304-372X	orcid.org/0000-0002-2304-372X

Szabó Balázs BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék balukapitany3@freemail.hu orcid.org/0009-0009-1036-0193	Balázs Szabó BSc Student Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training balukapitany3@freemail.hu orcid.org/0009-0009-1036-0193

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 133–143. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.15

Simon Sándor, Vas Tímea, Dudás Zoltán

A repülőtéri forgalomban alkalmazható drónok típusspecifikációs kérdései

A pilóta nélküli légijármű-rendszerek (UAS) egyre szélesebb körben történő alkalmazása során felmerült a repülőtereken a repülőterek működését elősegítő úgynevezett munkadrónok alkalmazásának lehetősége is. E drónok elsősorban a repülőterek és azok környezete időjárásának előrejelzésére, a munkaterület vizsgálatára, a repülőtér védelemre, repülőtéren belüli szállítási feladatokra és más célokra lehetnek alkalmazhatók. A felsorolt feladatok elvégzéséhez a drónokat különböző szenzorokkal szerelik fel, amelyek lehetővé teszik légköri jellemzők (például hőmérséklet, légnyomás, páratartalom), képfelvételek, egyéb adatok összegyűjtését. Tekintettel arra, hogy technikai szempontból az UAS lehet távirányítású (RPAS) vagy teljesen autonóm rendszerű, repülésbiztonsági szempontból különböző kockázati szintekkel jellemezhető a repülőtéri környezetben. Cikkünkben a jelenleg érvényben lévő drónokra vonatkozó EU-s normák figyelembevételével, azokkal összhangban kívánjuk feltárni az ezen alkalmazásokra kínálkozó lehetőségeket.

Kulcsszavak: *pilóta nélküli légijármű-rendszer, UAS, munkadrón, drónalkalmazás, meteorológiai szenzor, távirányítású drón, RPAS, repülésbiztonság, Európai Unió, EU*

1. A repülőtéri munkadrónok alkalmazási követelményei

Cikkünkben annak az elgondolásnak a jogi, technikai és repülésbiztonsági aspektusait mutatjuk be, amely a pilóta nélküli légi járművek (drónok), illetve a pilóta nélküli légijármű-rendszerek (UAS) hasznosíthatóságának szerepét elemzi az akár közforgalmú repülőterek hatékony működésének elősegítésében. Segítségükkel, hasonlóan például az ipari vagy mezőgazdasági drónok alkalmazásához, kiváltható például az emberi munkaerő, illetve egyszerűbbé vagy költséghatékonyabbá tehetők egyes munkafolyamatok vagy akár komplex, több embert és gépi erőforrás rendelkezésre állását megkívánó repülőtéri feladatok.

Véleményünk szerint egy repülőtér működtetése/üzemeltetése során főként az alábbi tevékenységek lennének biztosíthatók drónok, pontosabban úgynevezett *munkadrónok* segítségével:

- a légi járművek földi mozgásának megfigyelése;
- időjárás-felderítés, -előrejelzés;
- kényszerhelyzeti megfigyelés;
- a légi járművek és repülőtéri felületek jégtelenítése, tisztítása, akadálymentesítése;

- futópálya-ellenőrzés;
- földi légijármű-irányítási/-koordinációs feladatok *(marshaller szolgáltatás).*

Alapvetően a repülőtéri munkadrónokkal kapcsolatos követelmények megfogalmazása vonatkozásában kiindulhatunk a Bizottság (EU) 2019/945 *(Felhatalmazáson alapuló)* rendelete a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzemben tartói által az úgynevezett *Nyílt* kategóriájú drónokra vonatkozó követelményekből. Tekintettel arra, hogy más jogszabály által biztosított követelményt egyelőre nem határoztak meg. Az úgynevezett *Speciális,* illetve *Tanúsított* kategóriájú drónok vonatkozásában egyelőre a hagyományos repülőgépekre vonatkozó előírásokat (amelyeket az EASA[1] keret- és végrehajtási rendeletei előírnak) kellene általánosan alkalmazni, de drónspecifikus részletszabályok nélkül ezek önmagukban még nem alkalmazhatók [1].

A *Nyílt* kategóriájú drónokra vonatkozó követelmények szerint a drón rendelkezzen megfelelő mechanikai szilárdsággal, amelynek köszönhetően képes a repülés biztonságos és ismételt végrehajtására. A drón fedélzeti repülésirányító rendszere (rádiótechnikai berendezések/elemek) legyenek külső zavarásoktól mentesek, illetve azok működése ne zavarjon más, főként légijármű-fedélzeti rádiótechnikai vagy rádiónavigációs berendezéseket. A drón szerkezeti kialakítása, illetve a szerkezet úgynevezett éles éleinek *(Sharp Edges)* a kialakítása olyan legyen, hogy szerkezeti elemei ne okozzanak sérüléseket a kezelőkben, illetve ne jelentsenek veszélyt a repülőtéri infrastruktúra számára (például kerülendő a szükségtelenül nagy szerkezeti tömeg). A drón lehetőleg autonóm módon lássa el feladatát, kiküszöbölve ezáltal az emberi kezelőszemélyzet által okozott hibalehetőségeket [4].

1.1. Általános technikai specifikációs követelmények

Az általános technikai specifikációs követelmények összefoglalva:

- megfelelő mechanikai szilárdság;
- biztonságos fedélzeti elektromos rendszer és érintésvédelem;
- biztonságos irányíthatóság, illetve zavarásmentes (robusztus) autonóm repülésvezérlő rendszer;
- elektromágneses kompatibilitás;
- biztonságos és optimalizált szerkezeti kialakítás;
- a lehetőségekhez és a felhasználási célhoz igazított autonómia biztosítása.

A fentiekben felsorolt pontoknak való megfelelőséget alapvetően e pontokhoz rendelhető elektronikai berendezésekre vonatkozó szabványoknak való megfeleltetés útján biztosíthatjuk. Ilyen az érintésvédelem szempontjából az alacsony feszültségű berendezésekre vonatkozó szabványnak[2] [6] vagy például elektromágneses kompatibilitás szempontjából az EN 55032 szabványnak való megfeleltetés. A szabványoknak való megfelelés ellenőrzéséhez viszont mindenképpen laborkörülmények, illetve minősített laborok szükségesek, amelyek bevonása a drón gyártójának a felelőssége annak forgalomba hozatala előtt. A *Nyílt* kategóriájú

[1] European Aviation Safety Agency: Európai Repülésbiztonsági Ügynökség.
[2] Low Voltage Directive: LVD, EN 62368-1: 2014, Clause 5.

drónok vonatkozásában a *Felhatalmazáson alapuló* rendelet már most előírja az EU illetékes szervénél hivatalosan bejelentett megfelelőségértékelő szervezetek, úgynevezett NOBO-k[3] bevonását [7] a drón típustanúsításába. A vizsgálatokhoz szükséges szabványsorozatot ugyan már kidolgozták,[4] de jelenleg még nem hirdették ki, így a NOBO-k bevonása a drónok megfelelőségértékelésébe 2024. január 1-éig nem kötelező [3]. Az addig történő piaci forgalmazáshoz elegendő, ha a gyártó maga végzi el a termék, esetünkben a repülőtéri munkadrón tanúsítását, és látja el azt az EU-n belüli forgalmazáshoz szükséges CE[5] jelöléssel.

1. ábra
Repülőgép jégtelenítése [2]

A repülőtéri munkadrónok alkalmazása során típustól függetlenül a következő további technikai specifikációk alkalmazása javasolt. Mivel a drón a lehetőségekhez mérten a repülőtéri forgalomba illeszkedően végzi tevékenységét, alkalmazása során elsődleges fontosságú, hogy látható legyen a repülőtér légi forgalmi körzetében közlekedő és az ott le- és felszállást végző légi járművek számára. Ezt egyrészt a fedélzeten elhelyezett fényforrások (LED)[6] segítségével biztosíthatjuk, amelyet a drónokra, ugyanúgy, mint a hagyományos légi járművekre, a *Felhatalmazáson alapuló* rendeletben előírtak szerint kell felszerelni. A vizuálisan észlelhető fényforrásokon túl a munkadrón pozícióadatainak megjelenítésére távoli azonosítóval (például ADS-B)[7] való felszereltséget is előírhatnak, amely a repülőtéri irányító által használt felderítőrendszereken is megjeleníti a repülőeszközök és a földi járművek pozícióját [8].

Továbbá az UAS-nak szoftveresen alkalmasnak kell lennie a repülési határpontok/határterületek, az úgynevezett *geo-fencing* beállíthatóságára, amely kijelölt határterületet a drón ellenőrizhetően nem lép át. Szükség esetén a drón rendelkezzen aktív ütközéselhárító

[3] Notified Body – bejegyzett (megfelelőségértékelő) szervezet.
[4] Szabvány prEN 4709.
[5] Conformité Européenne – a jelölés bizonyítja, hogy az adott termék megfelel az Európai Unió adott kategóriájú termékre vonatkozó szabványainak.
[6] Light Emission Diode – fénykibocsátó dióda.
[7] Automatic Dependent Surveillance-Broadcast – ütközések elkerülését támogató rendszer.

rendszerrel, amely biztosítja, hogy más légi jármű közelségének érzékelése esetén képes kitérő manővert végezni. Végül a működéséhez szükséges fedélzeti energia csökkenése esetén például a minimális akkumulátorfeszültség beállítása által biztonsági protokollt kell működtetni, amely biztosítja, hogy a drón fedélzeti akkumulátorának, feszültségének bizonyos (beállított) érték alá csökkenése esetén a drón még képes visszatérni a felszállási pontra – RTH-[8]funkció [8].

Az alábbiakban összefoglaljuk az általános követelmények mellett azokat a további technikai követelményeket, amelyek a megbízható és üzembiztos működés feltételeit biztosítják.

1.2. További technikai specifikációs követelmények

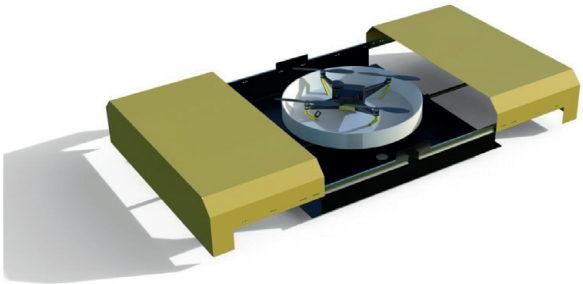
További technikai specifikációs követelmények:

- láthatósági követelmények – legyen látható, amennyire az lehetséges;
- a fényforrások (LED-ek) fedélzeti elhelyezése – vizuális láthatóság;
- ADS-B-vevő/-adó elhelyezése – műszeres láthatóság;
- *geo-fencing* képesség – legyen képes egy kijelölt (koordinátákkal körülhatárolt) területen belül maradni;
- rendelkezzen aktív fedélzeti összeütközés-elkerülő rendszerrel;[9]
- beépített biztonsági eljárások (protokollok) – a minimum-akkumulátorfeszültség beállítása.

2. ábra
WohnderLeap Quadro típusú meteorológiai mérődrón [10]

A drón üzemeltetése szempontjából lehet kezelő által távolról működtetett eszköz, például egy légijármű-jégtelenítéshez (1. ábra) használt drón, vagy lehet teljesen autonóm eszköz, amely bizonyos időközönként egy bázisállomásról felszállva végzi tevékenységét, például egy időjárás-előrejelzéshez használható, légköri meteorológiai méréseket végző drón (lásd 2., 3. ábra).

[8] Return to Home – hazatérés a felszállóhelyre.
[9] Airborne Collision Avoidance System/Active Collision Avoidance System – levegőben történő összeütközéseket elkerülő rendszer.



3. ábra
A WohnderLeap Quadro típusú meteorológiai mérődrón bázisállomása, koncepció [10]

2. Repülésbiztonsági megfontolások

A hagyományos és az UAS-repülés egy légtérben való megjelenése kapcsán hagyományosan kétféle kockázat, illetve ahhoz tartozó szcenárió merül fel. Ezek az összeütközéssel és a lezuhanással kapcsolatosak, úgymint:

- a hagyományos és pilóta nélküli eszközök összeütközése (következmények, a légi jármű sérülése, irányíthatatlanná válása, lezuhanása, harmadik félben károkozás);
- az UAV lezuhanása a rendszer valamely elemének meghibásodása következtében (az UAS megbízhatósága, meghibásodási ráta).

2.1. Összeütközés drón és hagyományos repülőgép között

Az összeütközés kockázati elemeinek szempontjából az UAV észlelhetőségét, a repülési magassághoz tartozó hagyományos forgalom sűrűségét, annak jellegét (kis/nagy sebességű, merev/forgószárnyas repülőeszközök), a jellemző repülési sebességeket (valószínűségi tartomány), ezenfelül a légtérben előforduló légi járművek tömegét, méretét (súlyossági tartomány) érdemes vizsgálni. Az UAV-meghibásodás szempontjából a megbízhatóság valószínűségi tartományának meghatározására van szükség. Az összeütközések elkerülése érdekében a „*látni és elkerülni*" elvet használják. A légi jármű pilótája folyamatosan figyeli a környező légteret, hogy észlelje az olyan légi járműveket, amelyek térbeli elhelyezkedésük és repülési pályájuk révén veszélyforrást jelenthetnek. Amikor a pilóta ilyet észlel, elkerülő manővert hajt végre. Alapelv, hogy a légi járművet nem szabad olyan közel üzemeltetni más légi járművekhez, hogy az ütközésveszélyt okozzon [15]. Az elv jól működik a lassan mozgó és alacsonyan repülő légi járművek esetében, de gyorsabban repülő vagy kisebb méretű eszközök esetében sérülhet. Sebességükből vagy méretükből adódóan az ilyen légi járművek nehezen észlelhetők. Az UAV mérete általában kicsi, háttérkontrasztja nem jelentős, és ez az összeütközési kockázatot tovább növeli. A szerkezet kialakítása nem „*repülőgépszerű*", ezért annak felismerése a hagyományos forgalom szereplői számára meglehetősen nehéz. A távirányítású eszközök színe semleges, a környezettől nem különül el. További kockázatot jelenthet, hogy az eszközök térbeli helyzete a légi forgalmi irányítóegységek számára is csak hozzávetőlegesen állapítható meg [9]. Az ütközés valószínűségét az is növeli, ha a légi jármű

szerkezetének profilja életlen, az észlelő irányába eső frontális felület kicsi. Mivel a mozgó tárgyak észlelése biztosabb, az ütközés valószínűségét növeli az is, amikor a frontális ütközési pályán haladó légi jármű és a másik eszköz relatív mozgást alig mutat [12]. Amikor az UAV autonóm üzemmódban működik, az eszköz sem a többi légi jármű észlelését, sem pedig kitérő manővert nem képes végrehajtani.

2.2. A drónok meghibásodása és lezuhanása

A drónok megbízhatóságával kapcsolatosan kevés információra támaszkodhatunk. A kutatások szerint a kereskedelmi repülés meghibásodási aránya körülbelül 1/105 repülési óra, míg a drónoknál körülbelül 1/103 repülési óra igazolódott, utóbbi kockázata tehát nagyságrendekkel magasabb. Más szempontból tekintve a kifinomult UAV-rendszerek teljes meghibásodási aránya 25%, amely szintén nem mondható alacsonynak [13]. A drónok meghibásodásának súlyosságát a következő kategóriák alapján lehetséges megítélni:

- katasztrofális meghibásodások: az ilyen jellegű meghibásodások esetén a drón lezuhanása nagyon valószínű, akárcsak a földön tartózkodó személyek sérülései (akár haláluk is);
- súlyos meghibásodások: súlyos károk feltételezhetők, és a drón valószínűleg javíthatatlan;
- mérsékelt meghibásodások: a drón funkcióinak mérsékelt romlását okozzák, ami a küldetés megszakításához vezethet; ez azonban nem okoz súlyos károkat;
- enyhe hibák: a drón funkcióinak enyhe romlását okozzák, de nem vezetnek a küldetés megszakításához [13].

2.3. Kockázatkezelési lehetőségek

A hagyományos és távirányítású eszközök összeütközésének valószínűségét, ahogy azt korábban bemutattuk, alapvetően az UAV[10] észlelhetősége, míg súlyosságát az ütköző légi járművek repülési paraméterei és szerkezeti jellemzői határozzák meg.

A kockázat mérséklése a kockázati elemek, azaz a valószínűség és a súlyosság mérséklésén keresztül valósítható meg. Az ütközés valószínűségének csökkentése érdekében a következő megoldások célszerűek:

- az eszköz nagy erejű villanófénnyel *(anti-collision lights)* való felszerelése;
- az eszköz jól észlelhető, a tereptől és a légkör színétől eltérő színűre festése;
- az eszköz transzponderrel való felszerelése;
- az eszköz monitorozása (ADS-B, FLARM)[11];
- olyan repülőgép-fedélzeti radarnézet előállítása, amelyen a drónok megfigyelhetők;

[10] Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli repülőeszköz.

[11] Flight Alarm – olyan elektronikus eszköz védett neve, amelyet kis repülőgépek, különösen vitorlázó repülőgépek pilótáinak figyelmeztetésére használnak a hasonló felszereltségű repülőgépekkel való esetleges ütközések esetén.

- a TCAS[12] telepítése a drón fedélzetére;
- repülőtéri környezetben a kockázatkezelés gépi támogatása;
- a repülőtéri irányító támogatása többletinformációval (forgalmi, meteorológiai, helyzeti);
- lehetséges kockázatos szituációk gépi előrejelzése aktuális adatok és statisztikai háttéradatok alapján;
- a repülőtéri irányító döntésének támogatása korábbi konfliktusok megoldási módjainak elérhetővé tételével;
- a repülőtéri irányító döntésének támogatása konkrét kockázatkezelési javaslattal;
- a drón irányítását végző személyzet repülés előtti kockázatértékelésének támogatása.

A súlyosság mérséklése érdekében továbbá:

- az eszköz puha szerkezeti kialakítása;
- az eszköz nagyobb tömegű elemeinek műanyaggal való beborítása;
- az eszköz követhetőségének és a humán beavatkozás lehetőségének fenntartása.

A lezuhanás kockázatának mérséklése érdekében a következő megoldási módok fontolandók meg:

- olyan tervezési elvek alkalmazása, amelyek szerint az eszköz képes öndiagnosztikára a repülés előtt és folyamán;
- mentőeszköz (ejtőernyő) beépítése, amelyet az üzemzavar észlelésekor automatikusan alkalmaz;
- nem kritikus meghibásodás esetén annak biztosítása, hogy az eszköz mind autonóm, mind irányított módban alkalmas a feladat megszakítására és a visszatérésre az indítóállásra;
- az eszköz követhetőségének és a humán beavatkozás lehetőségének fenntartása;
- egyértelmű eljárások és biztonsági rendszabályok előírása a drónpilóta számára biztonságkritikus helyzetekben [11].

3. Légiforgalom-szervezési szempontok

A repülőtéri irányító felelős a repülőtéren és annak körzetében a légi járművek levegőben egymással és a repülőtér munkaterületén az akadályokkal való összeütközés megelőzéséért. Ennek érdekében ismernie kell a felelősségi területén a tervezett és a valós forgalom paramétereit, meg kell határoznia a légi járművek egymáshoz viszonyított helyzetét, majd légi forgalmi irányítói engedélyek és utasítások formájában létre kell hoznia a biztonságos elkülönítést. Ezekkel az eljárásokkal tudja elérni az előzőekben meghatározott célokat [14]. Légiforgalmi irányítás mellett végrehajtott repülések esetén a felelősség megosztott, a légi jármű vezetője felelős a repülési szabályok és az irányítói engedélyek betartásáért, a légi forgalmi irányító pedig az engedélyek időbeni kiadásáért és a szükséges tájékoztatások továbbításáért. Ez az együttműködésen alapuló folyamat már a mindkét fél által megszokott ütemben zajlik,

[12] Traffic Alert and Collision Avoidance System – fedélzeti rendszer, amelyet arra terveztek, hogy növelje a pilótafülke figyelmét a közeli repülőgépekre, és utolsó védelemként szolgáljon a légi ütközések ellen.

amely folyamatban az új forgalmi elemet, esetünkben az UAS-t az eddig megszokottól eltérő paraméterekkel kell beilleszteni. Annak ellenére, hogy jogszabályi garanciák ([1], [4], [8]) igyekeznek biztosítani az UAV üzembiztos működését, a távpilóta jártasságát és kompetenciáit a magasabb kockázattal járó légi forgalmi környezetben, a légi forgalmi irányítónak ismernie kell az új forgalmi elem működési sajátosságait, tulajdonságait. Mindemellett elvárható, hogy:

- az UAS repülőtéri forgalomban való megjelenése ne jelentsen megnövekedett munkaterhelést az irányító számára;
- a repülőtér forgalmi ökoszisztémája legyen átlátható, szervezhető és rugalmasan kezelhető;
- az UAS működése legyen ismert minden repülőtér- és légtérfelhasználó számára;
- a távpilóta rendelkezzen „SA-"[13]képességgel;
- az UAV garantált útvonaltartási képességgel bírjon;
- kényszerhelyzeti eljárásai és annak következményei legyenek ismertek az irányító számára [14].

A felsorolásban említett feltételek önmagukban is kockázatot jelentenek a biztonságos légi forgalom-szervezés folyamatában, hiszen a megnövekedett munkaterhelés miatt az emberi hiba megjelenésének nagyobb lesz a valószínűsége. Az átlátható és jól szervezhető ökoszisztéma kiegészítő eljárásokat és további döntéstámogató rendszereket követel, a kölcsönös bizalmon alapuló légi forgalmi rendszer feltétele a transzparens működés. A távpilóta is legalább olyan jól ismerje és kezelje az RPA-t, mint az a hagyományos repülés pilótáitól elvárható légi járművük vezetése során. Az UAS automatizált vagy épp autonóm repülése egyfajta garanciát jelent útvonal- és feladattartási képességére, de további kérdéseket vet fel, hogy az ebbe a folyamatba a légi forgalmi irányító részéről korlátozások, tiltások formájában történő beavatkozás milyen változásokhoz vezet, és ez jelenthet-e veszélyt a légi forgalom többi résztvevőjére. Vajon az UAS kényszerhelyzet bekövetkezésekor alkalmazott eljárásai ismertek-e teljes mértékben az irányító számára. Az UAS-k működési tulajdonságai és eljárásai önmagukban is kutatási kérdést jelentenek abból a szempontból, hogy a repülőtér forgalmi ökoszisztémájában távpilóta által irányított, részben automatizált vagy épp részben autonóm elven működnek, vagy esetleg teljes mértékben autonóm módon repülő RPA-ről van szó. Cikkünkben ezek előnyeiről és hátrányairól is készítettünk egy rövid összefoglalást (lásd az 1. és a 2. táblázatban).

1. táblázat
A Speciális kategóriában működő drónok [szerkesztette Vas Tímea]

Előnyei	Hátrányai
a pilóta képes kommunikálni az irányítóval; az irányítói engedélyben foglaltak szerint tevékenykedik; CE osztályba sorolás – repülésbiztonsági és megbízhatósági garancia	az emberi hiba előfordulása lehetséges; kommunikációs többletteher; VLOS[14] esetén csak rövid hatótávolságú műveletek; BVLOS[15] esetén magasabb kockázatok

[13] Situational Awareness – jártasságon, tapasztalaton és információn alapuló időbeni és magabiztos döntési képesség.
[14] Visual Line of Sight – látótávolságon belüli műveletek.
[15] Beyond Visual Line of Sight – látótávolságon kívüli műveletek.

2. táblázat
A Tanúsított kategóriában működő drónok [szerkesztette Vas Tímea]

Előnyei	Hátrányai
távpilóta nincs, önálló működés; előre definiált feladatok végrehajtására kiválóan alkalmas; a technológia rendelkezésre áll	az irányítói engedélyek, korlátozások, tiltások végrehajtása fejlett MI-t[16] igényel; jelenleg csak koncepciószinten létezik a szabályozás

4. Összegzés

Kutatásunk során a cikk fejezeteiben felsorolt jogszabályi garanciák, azonosított veszélyek és kockázatcsökkentést szolgáló megoldások, valamint légiforgalom-szervezést támogató eljárások átfogó vizsgálatát végezzük. Kutatási eredményeink segítik kutatócsoportunkat abban, hogy a légi forgalmi irányító döntéstámogatását szolgáló rendszer funkcióit, megjelenítési sajátosságait, legjobb támogató megoldásait kidolgozzuk és teszteljük. Az elméleti kutatások gyakorlati alkalmazhatóságát egy szimulált repülőtéri környezetben fogjuk elvégezni, ami lehetőséget biztosít majd további veszélyek beazonosítására, a már ismert és hagyományos forgalom esetén alkalmazott irányítói eljárások felülvizsgálatára a drónok beillesztése esetén.

Felhasznált irodalom

[1] A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról.
[2] A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról.
[3] A Bizottság (EU) 2022/425 végrehajtási rendelete (2022. március 14.) az (EU) 2019/947 végrehajtási rendeletnek a „Nyílt" kategóriába tartozó egyes pilóta nélküli légijármű-rendszerek használatára vonatkozó átmeneti időpontoknak, valamint a látótávolságon belül vagy azon kívül végzett műveletekre vonatkozó standard forgatókönyvek alkalmazása kezdőnapjának elhalasztása tekintetében történő módosításáról.
[4] Az Európai Parlament és a Tanács 2014/35/EU irányelve (2014. február 26.) a meghatározott feszültséghatáron belüli használatra tervezett elektromos berendezések forgalmazására vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról.
[5] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/1139. rendelete (2018. július 4.) a polgári légi közlekedés területén alkalmazandó közös szabályokról és az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynökségének létrehozásáról és a 2111/2005/EK, az 1008/2008/EK, a 996/2010/EU, a 376/2014/EU európai parlamenti és tanácsi rendelet és a 2014/30/EU és a 2014/53/EU európai parlamenti és tanácsi irányelv módosításáról, valamint az 552/2004/EK és a 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet és a 3922/91/EGK tanácsi rendelet hatályon kívül helyezéséről.

[16] Mesterséges intelligencia.

[6] Az Európai Parlament és a Tanács 768/2008/EK határozata a termékek forgalomba hozatalának közös keretrendszeréről, valamint a 93/465/EGK tanácsi határozat hatályon kívül helyezéséről.
[7] Aviation Troubleshooting: Future of Deicing Technology and Effective Training for Flight in Icing Conditions. Online: https://aviationtroubleshooting.blogspot.com/2011/01/future-of-deicing-technology-and.html
[8] Bottyán Zs. et al., „Rutinszerű légköri vertikális profilmérések végrehajtására alkalmas drón mérőhálózat kialakítása," Közlekedés és Mobilitás, 1. évf. 1. sz. 1. p. 2022. Online: https://doi.org/10.55348/KM.16
[9] E. Petritoli, F. Leccese, L. Ciani, „Reliability and Maintenance Analysis of Unmanned Aerial Vehicles". Online: https://doi.org/10.3390/s18093171
[10] ICAO Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation. Rules of the Air 2005.
[11] ICAO Doc 4.4.4.4. Procedures for Air Navigation Services, Air Traffic Management.
[12] R. Huculak, „NIAR UAS Drop TestingReport Support of UAH Part 107," Waiver Case Study 2016. Online: https://assureuas.org/wp-content/uploads/2021/06/A14-Final-Report.pdf
[13] R. Clothier, Rodney A. Walker, „The Safety Risk Management of Unmanned Aircraft Systems". Online: https://doi.org/10.1007/978-90-481-9707-1_39
[14] R. Schmidt et al., „Key Competences and Training of Civil Drone Pilots," 27th ITS World Congress, Hamburg, Germany, 11–15 October 2021.
[15] S. Drozdowski, H. Hutchinson, „Probably See and Probably Avoid," 2010. Online: https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/1243.pdf

Type Specification Issues of Drones Being Used at Airport Operations

The increasing use of Unmanned Aircraft Systems (UAS) has also raised the possibility of the use of so-called work drones at airports to support „in-house" operations. These drone applications can be used primarily for weather forecasting at airports and their surroundings, inspection of the manoeuvring area, airport security, airside transport and other purposes. To perform these tasks, drones are equipped with various sensors that can be used to obtain a wide range of data such as temperature, air pressure, humidity, atmospheric characteristics, imagery etc. From a technical point of view, UAS can be either remotely piloted (RPAS) or fully autonomous systems, and can be characterised by different levels of risk in an airport environment from a safety point of view. In this article, we will explore the potential of these sub-applications, taking into account and in line with the current EU standards for drones.

Keywords: *Unmanned Aircraft System – UAS, work-drone, drone application, meteorological sensor, Remote Piloted Aircraft System – RPAS, Flight Safety, European Union – EU*

Dr. Dudás Zoltán docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó tanszék dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X	Zoltán Dudás, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X
Dr. Vas Tímea docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó tanszék vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370	Tímea Vas, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aerospace Controller and Pilot Training vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370
Simon Sándor doktori hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola simon.sandor@uni-nke.hu orcid.org/0009-0009-0760-3510	Sándor Simon PhD Student Ludovika University of Public Service Doctoral School for Military Engineering simon.sandor@uni-nke.hu orcid.org/0009-0009-0760-3510

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 145–155. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.16

Békési Bertold, Gajdács László, Knapiczius Attila

A pilóta nélküli légi járművek meghajtási rendszerei

A pilóta nélküli légi járműveket (UAV) megjelenésük óta számos kérdés övezi. Kétség sem fér hozzá, ezen eszközök használata megreformálta a repülést nemcsak katonai, de a civil felhasználást tekintve is. Nap mint nap számos olyan terület jelenik meg, amely hatékony működéséhez hozzájárulhat meglétük, és a 21. század kielégítő technológiai fejlettsége lehetőséget biztosít arra, hogy hatásfokukat kedvező irányba növelve új kihívások elé állíthassuk ezeket a segédeszközöket. Az ehhez szükséges teljesítmény jelentősen összefügg azzal, hogy milyen meghajtási technológiát választunk, az erre irányuló kutatások és fejlesztések így az egyik legfontosabb irányt képezik. A cikk a lehetséges meghajtási rendszereket tárgyalja, működési elvüket legfontosabb jellemzőikkel. Fontos kiemelni, milyen elvárásokat követelnek meg az adott felhasználási területek, így ezek alapján szükséges kiválasztani a megfelelő szerkezeti felépítést. Figyelembe kell venni továbbá a jövőben megjelenő potenciális kihívásokat. Egyre tágabb teret kap a tisztán elektromos meghajtás, nemcsak földön, de a levegőben is, így a rendszerek energiaellátása és annak iparága is. A cikk igyekszik átfogó nézetet adni és több szemszögből is összehasonlítani az UAV-k meghajtási rendszereit azok minden előnyével és hátrányával.

Kulcsszavak: *UAV, meghajtás, akkumulátor, üzemanyagcella,*

1. Bevezetés

A kis méretű pilóta nélküli légi járművek (UAV), közismert nevükön a „drónok" használata minden ágazatban növekszik. Az UAV-k olyan légi műveleteket képesek végrehajtani, amelyekkel a pilóta által vezetett repülés nehezen boldogul, és alkalmazásuk nyilvánvaló gazdasági megtakarításokat és környezeti előnyöket eredményez, miközben csökkenti az emberi élet veszélyeztetésének kockázatát [12].

Jelenleg az UAV-knak számos típusa létezik, és különböző területeken használják őket, a polgári és a katonai repüléstől kezdve. Ezért számos kritériumot javasoltak az UAV-k különböző csoportokba történő sorolására [15]. Az UAV-kat felépítésük alapján merev, forgószárnyas, hibrid és biológiai alapú kategóriákba sorolhatjuk [2], [3], [4], [5], [8]. A meghajtás módja alapján dugattyús, gázturbinás és elektromotoros [2], [3], [4], [5] megoldások lehetségesek. A [6] irodalom részletesen foglalkozik a lehetséges szerkezeti felépítésekkel, beleértve az üzemanyag-meghajtású, a hibrid (üzemanyag-meghajtású és elektromos) és a tisztán elektromos rendszert.

A pilóta nélküli légi járművek meghajtási technológiája jelentős mértékben kapcsolódik az UAV-k repülési teljesítményéhez, amely a repülés egyik legfontosabb fejlesztési irányává

vált. Az UAV tervezésénél és építésénél az egyik legfontosabb feladat, hogy a rendszer a lehető leghosszabb ideig működőképes legyen, ami az UAV élettartamának növelését jelenti. Az UAV energiatároló rendszerének kapacitáskorlátozása az UAV-alkalmazások szempontjából kulcsfontosságú műszaki kihívás [6].

Az UAV-típusok közül a mini (MAV) pilóta nélküli légi járművek kategóriája az [8, p. 302], amely talán a legszélesebb körben használhatja az elektromos motorokat és ezáltal a meghajtásukhoz szükséges különböző energiatároló rendszereket.

Az elektromos motorok, az energiatároló rendszerek és a teljesítményelektronikai átalakítók terén elért fejlesztések a repülőgépek meghajtásának egyre inkább elektromossá válását eredményezik [16]. A nagyobb teljesítményigényű repülőgépek (MEA)[1] alapkoncepciója az, hogy növeljék azon alrendszerek elektromos meghajtását, amelyek működtetéséhez a korábbi repülőeszközökön mechanikus, pneumatikus vagy hidraulikus rendszerek kombinációját alkalmazták. A MEA célja tehát, hogy teljes mértékben lecserélje a repülőgép nem elektromos erőforrásait elektromosra [9].

A repülőgépek a kezdetben kis méretű, teljesen elektromos városi légi járművekből fokozatosan közepes méretű hibrid-elektromos repülőgépekké, majd három évtizeden belül hibrid-elektromos meghajtású regionális repülőgépekké fejlődnek. A hibrid-elektromos meghajtású rendszerek tanulmányozása multidiszciplináris, kombinált megközelítést igényel, hogy megbirkózzon az összes kapcsolódó területtel, ami kihívásokkal teli feladat [16].

Jelen munka célja bemutatni az UAV-k meghajtás szempontjából fontos energiaellátó rendszerét (akkumulátor, üzemanyagcella stb.), kiemelve annak legfontosabb jellemzőit, előnyeit és kihívásait.

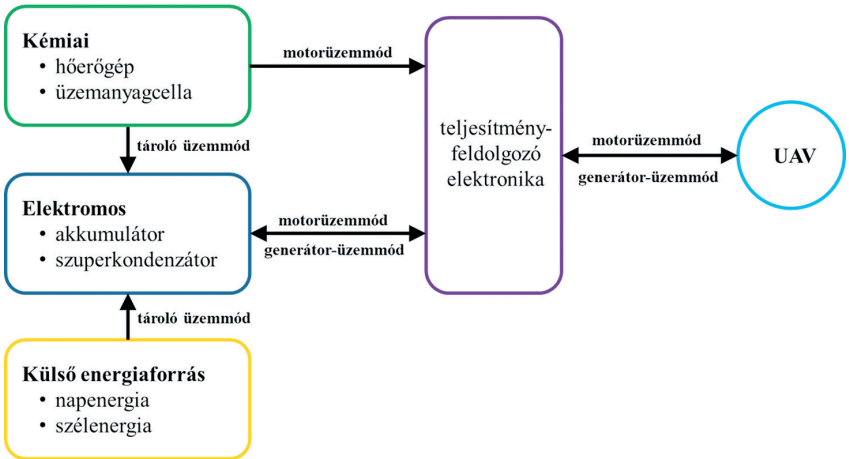
2. Az UAV-ban használt energiaforrások

Az UAV-rendszer számos különböző komponensből áll. A küldetés követelményeitől függően az UAV egyes részei cserélhetők. Alapvetően azonban két fő rendszert tartalmaz: fedélzeti egységet és földi egységet [10], [18], amelyek a következő alrendszereket foglalják magukban: légi jármű, hasznos teher, navigáció, energiaellátás, kommunikáció, indító- és leszállító berendezések, valamint vezérlőállomás [6], [15].

Egy UAV tervezésekor a hasznos teher az egyik fontos tényező, amelyet figyelembe kell venni. A nagyobb hasznos teher befolyásolja az UAV működéséhez szükséges energiát. A hasznos teher alapvetően több típusra osztható: videokamerák, hőkamerák, érzékelők és rakományok (például fegyverek, rakéták és bombák a hadsereg számára; permetezés, vetőmagvetés, gyomfelismerés, térképezés a mezőgazdaság számára; vagy akár tűzoltó anyagok polgári célokra és így tovább) [15].

Az energiaellátó rendszer fontos szerepet játszik az UAV-ban, és a rendszer szívének tekinthető, mivel az egész „operációs rendszer" energiaellátását biztosítja. Az energiarendszer jelentős hatással van a légi jármű repülési teljesítményére. Az UAV működéséhez használt energiaforrások közé elsősorban a hőerőgép, az üzemanyagcella, a szuperkondenzátor, az akkumulátor és a külső energiaforrás (napenergia, szél stb.) tartozik. Két kategóriába sorolhatók: kémiai rendszer és elektromos megoldások (lásd az 1. ábrát) [15].

[1] More-Electric Aircraft (MEA): nagyobb teljesítményű repülőgép; több elektromos energiát igénylő repülőgép.



1. ábra
Az UAV-ban használt energiaforrások (Békési Bertold [15] alapján)

A hőerőgépet főként a nagy UAV-kban, például a HALE-[2] és a MALE[3]-típusúakban használják. A hőenergiát mechanikai energiává alakítja át, amely az UAV működésének forrása. A bonyolult vezérlés, a magas hőmérsékleti jellemző, a nagy zaj, az alacsony üzemanyag-megtakarítási képesség és a segédindító motor szükségessége miatt azonban a hőerőgép nem alkalmas a kis UAV-kban való használatra [15]. A fenti problémák megoldására környezetbarát elektromos motorokat fejlesztenek ki, amelyek elektromos energiaforrásokat, például üzemanyagcellákat, napelemeket, akkumulátorokat és szuperkondenzátorokat használnak alacsony károsanyag-kibocsátásuk, alacsony zajszintjük és alacsony hősugárzásuk miatt [23].

Az akkumulátorok az elektromos meghajtású rendszerek kulcsfontosságú elemei, mivel ezek szolgáltatják a motor és egyéb elektromos/elektronikus alkatrészek – navigáció, vezérlés, adatgyűjtés – működtetéséhez szükséges energiát [23]. Elsőre az akkumulátorok vonzóbbak lehetnek kis méretük és alacsony költségük miatt, de teljesítményük és energiasűrűségük jóval kisebb, mint a többi alternatívának [7].

Az UAV-k fedélzetén használt akkumulátorok számos különböző típusa létezik (1. táblázat), amelyek mindegyikének megvannak a maga előnyei és hátrányai [1], [11]. A típusok közé tartoznak: ólomsavas, nikkel-kadmium (NiCad), nikkel-fémhidrid (NiMH), alkáli, lítium-polimer (Li-Po), lítium-ion (Li-ion), cink-oxid ($Zn\text{-}O_2$), lítium-levegő és lítium-tionil-klorid[4] ($Li\text{-}SOCl_2$) [1].

[2] High-Altitude, Long-Endurance: nagy repülési magasságú, hosszú repülési időtartamú.
[3] Medium-Altitude, Long-Endurance: közepes repülési magasságú, hosszú repülési időtartamú.
[4] A lítium-tionil-klorid-cellák ($Li\text{-}SoCl_2$) fém lítiumanódot (a fémek közül a legkönnyebb) és folyékony katódot tartalmaznak, amely tionil-kloriddal ($SOCl_2$) töltött porózus szénáramkollektorral rendelkezik. 3,6 V cellafeszültséget biztosítanak, henger alakúak. A lítium-tionil-klorid-cellák olyan eldobható elemek, amelyeknek a legmagasabb a feszültségük és az energiájuk. A leghosszabb ideig tárolhatók és a legkisebb az önkisülési arányuk. Ezek az elemek ideálisak olyan hosszú távú alkalmazásokhoz, mint az elektronikus eszközök (GPS, vészhelyzeti jeladók, katonai rádiókommunikáció), különösen a memória IC-k [19].

1. táblázat
A különböző akkumulátortípusok különböző jellemzőinek összehasonlítása [1], [11]

Típusok	Pb	NiMH	Li-ion	Ni-Cd	alkáli	Li-Po	Zn-O_2	LiO_2	Li-SOC_2
Cellafeszültség (V)	2,1	1,2	3,6–3,85	1,2	1,3–1,5	2,7–3	1,45–1,65	2,91	3,5
Energiasűrűség (Wh/kg)	30–40	60–120	100–265	40–60	85–190	100–265	442	11 140	500–700
Fajlagos teljesítmény (W/kg)	180	250–1000	250–340	150	50	245–430	100	11 400	18
Élettartam	<350	180–2000	400–1200	2000	nincs adat	500	100	700	nincs adat
Töltési/kisülési hatékonyság (%)	50–95	66–92	80–90	70–90	45–85	90	60–70	93	6–94
Önkisülési ráta (%)	3–20	13,9–70,6	0,35–2,5	10	<0,3	0,3	0,17	1–2	0,08
	12 V 2 Ah	12 V 2 Ah	3,6 V 2 Ah	12 V 1,8 Ah	1,5 V 2,2 Ah	3,7 V 2 Ah	1,4 V 0,3 Ah	nincs adat	3,6 V 2,2 Ah

A drónokban a legelterjedtebb akkumulátor a Li-Po és a Li-ion. A Li-ion típusúak nagyobb energiát és teljesítményt képesek biztosítani egységnyi akkumulátortömegre vetítve. Emellett nagy energiahatékonysággal rendelkeznek, nincs memóriahatás, és a többi újratölthető akkumulátorhoz képest viszonylag hosszú élettartamúak. A Li-$SOCl_2$-akkumulátorok kilogrammonként kétszer nagyobb energiasűrűséggel rendelkeznek a Li-Po és a Li-ionhoz képest, a lítium–levegő-akkumulátorok pedig akár hétszer nagyobbak is lehetnek, azonban sajnos nem annyira széles körben elérhetőek és sokkal drágábbak, mint a Li-Po és a Li-ion [1].

A lítiumakkumulátorok egy másik változata a lítium-kén (Li-S),[5] amely szintén nagyobb energiasűrűséget 2600 Wh/kg (elméleti) kínál a Li-ionnál (100–200 Wh/kg). Figyelembe véve a tényleges és az elméleti energia közötti arányt, a Li-S-akkumulátorok gyakorlati energiasűrűsége várhatóan eléri a 800 Wh/kg-ot, ezért a Li-S-akkumulátorok a következő generációs akkumulátortechnológia termékeinek tekinthetők, amelyek alkalmazási lehetőségei igen jelentősek [14]. A legtöbb fejlett ország, köztük az Egyesült Államok, Japán, Oroszország, Kína és az Európai Unió határozottan támogatja a Li-S-akkumulátor-technológia fejlesztését.[6] Eközben a kereskedelmi Li-S-akkumulátorok kutatása és fejlesztése terén világszerte jelentős előrelépéseket tettek, többek között olyan vállalatok, mint a Sion Power (USA),[7] a Polyplus (USA) és az Oxis Energy (UK) [14].

[5] Herbert Danuta és Ulam Juliusz 1962-ben szabadalmaztatta [13] az elemi kénnek az akkumulátor katódanyagaként való felhasználását, amely a Li-S-akkumulátorok eredetének tekinthető.

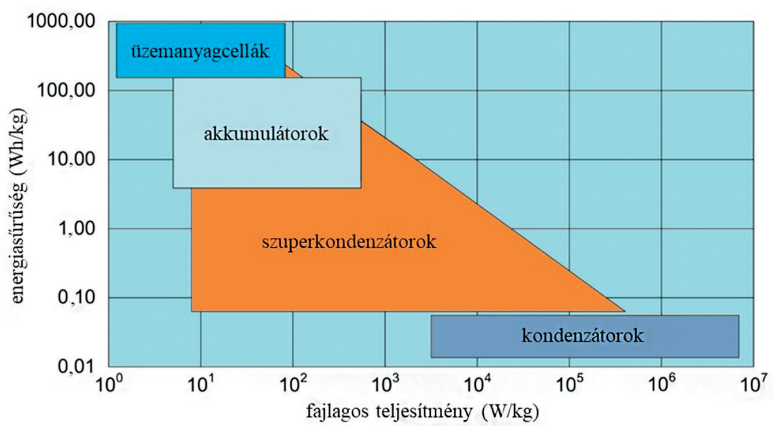
[6] Japán évi 30 milliárd jen (kb. 2,4 milliárd kínai jüan) befektetését tervezte, és a cél az 500 Wh/kg speciális energiájú Li-S-akkumulátorok kifejlesztése volt 2020-ra. Az EU 2015-ben megnyitotta a „Horizont 2020" kutatási és fejlesztési programot, amely 7,6 millió dollárt tervezett befektetni a Li-S-akkumulátorokat használó elektromos járművekbe.

[7] 2014-ben a Sion Power Company bemutatta a napközben napelemmel, éjszaka pedig Li-S-akkumulátorral (350 Wh/kg) működő pilóta nélküli légi járművet [21]. A Zephyr névre keresztelt HALE UAV (szárnyfesztávolsága 22,55 m és tömege 53,07 kg) 14 nap 22 percet töltött a levegőben [7]. Ezt a figyelemre méltó rekordot a napenergia és a Sion Power Li-S-akkumulátorainak éjszakai kombinációjával érte el [21].

Az egyes kritériumok (lásd 1. táblázat) a drón különböző aspektusait befolyásolják: a teljesítménysűrűség a gyorsítási képességeket, az energiasűrűség a hatótávolságot, az élettartam azt, hogy milyen gyakran kell cserélni az akkumulátort, a tömeg és a térfogat pedig a rendszer hatótávolságát [1].

Az elektromos energiaforrások másik lehetősége az üzemanyagcella, amely egy galvánelem és az üzemanyag kémiai energiáját alakítja át villamos energiává [7], [15]. Az üzemanyagcellák működésük során nem juttatnak a környezetükbe olyan káros anyagokat, mint a hagyományos tüzelőanyagok (nitrogén-oxidok, kén-dioxid, illetve lebegő részecskék), így akár környezetbarátnak is nevezhetők (lennének). Viszont a hidrogénbetáplálásúak vízgőzt bocsátanak ki magukból, amely a magasabb légrétegekben, ahol a légi járművek közlekednek, hozzájárul az üvegházhatáshoz. Ezenkívül a működéshez szükséges hidrogén előállítása jelenleg döntő hányadában nem környezetbarát technológiákkal, fosszilis eredetű energiahordozók felhasználásával történik (például gőz-, katalitikus reformálás, elektrolízis), ami így kizárja a H_2 környezetbarát besorolását [7], [17].

A 2. ábrán látható, hogy az üzemanyagcella rendelkezik a legnagyobb fajlagos energiával, míg a fajlagos teljesítmény a legalacsonyabb a többi energiaforráshoz képest. Mindegyik energiaforrásnak megvannak a maga előnyei és hátrányai, ezért sok kutató arra is törekedett, hogy ezeket az energiaforrásokat előnyeikkel kombinálva hibrid energiaforrásokat hozzon létre. Hibrid energiaforrás lehet például egy akkumulátor és egy üzemanyagcella kombinációja, amely kihasználja az akkumulátor nagy teljesítménysűrűségét, nagy hatékonyságát, gyors reakciókészségét és az üzemanyag nagy energiasűrűségének előnyeit. Ebben az esetben az akkumulátort használják energiaforrásként a csúcsteljesítmény igénybevételéhez, például a felszálláshoz és az emelkedéshez. Emellett az üzemanyagcella az utazó- és süllyedési fázisban is használható [15].



2. ábra
Energiaforrások összehasonlítása (Békési Bertold [15] alapján)

Az akkumulátorok ezen hátrányainak ellensúlyozására a szuperkondenzátorok használata jöhet szóba, az akkumulátoroknál ezek sokkal nagyobb teljesítményű és gyorsabb energiatároló rendszerek (gyorsabb töltési/kisütési sebesség). A szuperkondenzátor továbbá észszerű

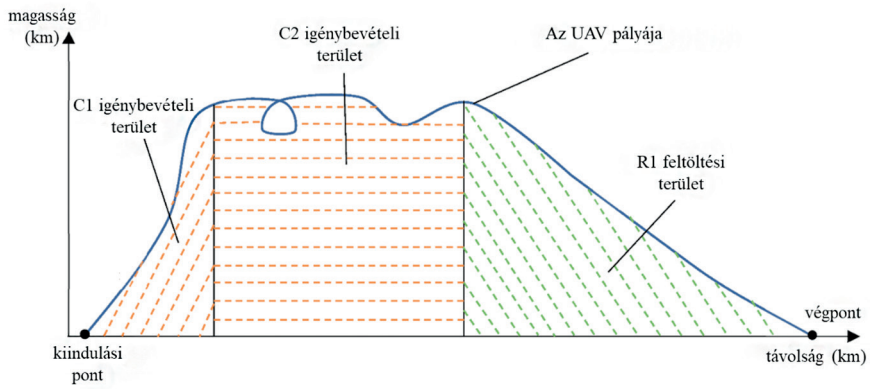
költséggel, nagy üzemi hőmérséklet-tartományban és alacsony karbantartási költséggel rendelkezik, és csökkenti az egyenáramú buszfeszültség ingadozását. Az akkumulátorokénál azonban a szuperkondenzátorok fajlagos energiakapacitása alacsonyabb (csak néhány Wh/kg). A szuperkondenzátorok közül az elektromos kétrétegű kondenzátorok a legelterjedtebb típusok, amelyek nagyon tartósak, és képesek gyors töltésre és kisütésre, valamint több millió ciklusra. Az ilyen típusú szuperkondenzátorok használata környezetvédelmi előnyökkel is jár, mivel nem igényelnek drága anyagokat, például lítiumot és kobaltot a gyártásukhoz [15], [20].

Egy másik alternatívát jelenthetnek a lítium–levegő-akkumulátorok, amelyek jelentősen megnövelhetik az elektromos (légi) járművek hatótávolságát, mivel nagyon nagy energiasűrűséggel (fajlagos energiával) rendelkeznek, amely szinte a kerozinéhoz hasonlítható [1]. Egy kg kerozin körülbelül 43 MJ energiát (11,94 kWh) tartalmaz [22]. Ugyanazzal a tömeggel 5–10-szer annyi energiát képesek tárolni, mint a Li-ion-akkumulátorok, vagy ugyanolyan térfogat mellett kétszer annyi energiát. Összehasonlításképpen: becsült energiasűrűségük 2000–3500 Wh/kg körül van (gyakorlati energiasűrűségük várhatóan eléri az 1700 Wh/kg-ot) [14], ami sokkal nagyobb, mint bármely más ismert akkumulátoré. Már terveztek kis méretű lítium–levegő-akkumulátort, amelynek sűrűsége 600 mAh/g, szemben az azonos méretű Li-ion-akkumulátor 100–150 mAh/g sűrűségével [1]. Mindezen előnyök mellett néhány hátránnyal is számolni kell, ennek az akkumulátornak az újratölthető változata problémás, mivel az újratöltési/kisütési ciklusok száma nagyon korlátozott, újratöltési sebessége nagyon lassú, és rendkívül veszélyes, ha az oxigénben vízgőz van jelen, mivel a lítium heves reakcióba lép vele [1].

Összefoglalva: a mai korszerű akkumulátorok legnagyobb fajlagos energiája kb. 400 Wh/kg. Tehát a kerozin fajlagos energiája körülbelül 30-szor nagyobb, mint a rendelkezésre álló akkumulátorok fajlagos energiája. Az elfogadható szint körülbelül 750 Wh/kg lenne, amely nem lesz elérhető 2035 előtt [22].

3. Egy UAV repülési forgatókönyve

Az energiarendszer jelentős hatással van a légi jármű repülési teljesítményére. Ha ismerjük az UAV röppályáját, akkor ennek ismeretében kiszámítható a repüléshez felhasznált energia. A 3. ábra egy UAV repülési forgatókönyvét mutatja be. A kiindulási ponttól a végpontig tartó repülés során az UAV sok energiát fogyaszt a C1 és a C2 területen, és az R1 területen a szélenergiát elektromos energiává alakítva tárolja vissza az energiát. Az UAV hatékonysági együtthatójának (hatásfokának) maximalizálására irányuló cél elérése érdekében meg kell találni a szélenergia elektromos energiává történő átalakításának hatékony együtthatóját. Mivel az UAV-t befolyásolják a környezeti tényezők és a motorok változó sebessége, az UAV energiafogyasztási modellje valójában nemlineáris modell. Az energiafogyasztási modell a sok figyelembe veendő paraméter miatt összetetté válik. Célunk azonban a maximális hatékonyság megtalálása, ezért az energiafogyasztási modellt lineárisnak tekintjük [15].



3. ábra
Egy UAV repülési forgatókönyve (Békési Bertold [15] alapján)

Az UAV energiafogyasztása elsősorban a meghajtórendszerre koncentrálódik. A motoron átfolyó áram nagyon nagy, ezért a quadrokopter általában rövid üzemidővel rendelkezik. A meghajtási energiafogyasztás a következőképpen számítható ki:

$$E_{pr} = \int_{t_0}^{t_f} \sum_{i=1}^{4} \left(J\dot{\omega}_i(t) + K_T\omega_i^2(t) + D_v\omega_i(t) \right) \omega_i(t)dt \qquad (1)$$

ahol: ω_i – az i motor szögsebessége; J – a motor tehetetlensége; D_v – a viszkózus csillapítási együttható; és K_T – a légellenállási együttható.

A szélenergiából átalakított energia a következő képlet szerint számítható ki:

$$E_c = \int_{t_2}^{t_1} \eta_0 P_w(t)dtz \qquad (2)$$

ahol: η_0 – a szélenergia elektromos energiává történő átalakításának hatékonysági együtthatója és P_w – a szélenergia.

Az UAV teljesítménye az energiaátalakítás és az energiafogyasztás között a következőképpen számítható ki:

$$\eta = \frac{E_c}{E_{pr}} \qquad (3)$$

Az (1) és a (2) egyenletből látható, hogy az UAV energiafogyasztása nagymértékben függ a motorok szögsebességétől. Nagyon fontos az elektromos motorok áramának vagy a rendszer elektromos meghajtásának szabályozása. Ezeknek az elektromos meghajtásoknak a hatékonyságát az áram szintje befolyásolja. Eközben az energiaátalakítást a η_0 és a légcsavar keresztmetszetén keresztül a szélenergia befolyásolja [15].

4. Összefoglalás

A repülőgépek elektromos meghajtása hatással lesz a repülőterek légi közlekedésére. A skandináv országok a fenntartható légi közlekedés irányába mutatnak, és 2045-ig a rövid távú járatok és a belföldi járatok esetében 100%-ban elektromos légi közlekedés megvalósítását tűzték ki célul. Erre az időre azért van szükség, mert az elektromos repülőgéphez töltési szabványok, új infrastruktúra és új üzleti modellek meghatározása szükséges. Az elektromos repülőgépek elterjedésével a repülőgépek karbantartási költségeinek 50%-os csökkenése várható, valamint az üzemanyagköltségek megtakarítása [16].

Az UAV-k energiaellátásának legnépszerűbb módját jelenleg az akkumulátorok jelentik. Az akkumulátorok UAV-kban való alkalmazása során a következő főbb kihívások merülnek fel:

1. a nem megfelelő fajlagos energia és teljesítménysűrűség (az önálló elektromos meghajtási tartomány elérése érdekében);
2. az akkumulátorok nem megfelelő élettartama (töltés-kisütés ciklusok) és
3. a nem megfelelő biztonság, a termikus instabilitás, a hosszú töltési idő [11], [22].

Az üzemanyagcellát energiaforrásként használó UAV előnyei közé tartozik, hogy nincs közvetlen környezetszennyezés, nincs zaj, nagy az energiasűrűség, és szinte azonnal feltölthető. A hátrányok azzal kapcsolatosak, hogy a méret jelentősen nagyobb, mint a hagyományos akkumulátorral működő drónoké, az üzemeltetési költségek a hidrogéngáz rendelkezésre állásától függenek, és a hidrogéngáztartály mérete korlátozza a drón felépítését. Továbbá a hidrogéntartályt figyelembe kell venni a drón kiegyensúlyozásakor, szem előtt tartva, hogy tömege csökken, amint a tartály kiürül [1].

A tanulmány célja az volt, hogy röviden összefoglalja az UAV-k meghajtása szempontjából fontos energiaellátó rendszereket (akkumulátor, üzemanyagcella stb.), kiemelve azok legfontosabb jellemzőit, előnyeit és kihívásait. Konklúzióként elmondható hogy a jelenlegi technológiák fokozatos fejlesztése nem lesz elegendő a kitűzött célok eléréséhez, úgynevezett „diszruptív" változtatásra van szükség. A problémák enyhítése további tanulmányokat és technológiai fejlesztést igényel. A hibrid-elektromos meghajtás, az új technológiák, konfigurációk és megoldások tűnnek a legvalószínűbb megoldásnak a célok eléréséhez.

Felhasznált irodalom

[1] A. Townsend et al., „A Comprehensive Review of Energy Sources for Unmanned Aerial Vehicles, Their Shortfalls and Opportunities for Improvements," Heliyon, 6. évf. 2020. Online: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05285

[2] Békési B., „Pilóta nélküli légijármű típusok sárkányszerkezeti megoldásai," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013, Pokorádi L. szerk. Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013, pp. 122–132.

[3] Békési B., „Pilóta nélküli légijárművek jellemzése, osztályozásuk," in Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek. Palik M. szerk. Budapest, Magyarország: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013, pp. 65–109.

[4] Békési B., „UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai," Szolnoki Tudományos Közlemények, 15. évf. pp. 1–11. 2011.

[5] Békési L., Békési B., „Merevszárnyú pilóta nélküli légijárművek (UAV-k)," Szolnoki Tudományos Közlemények, 17. évf. pp. 7–34. 2013.
[6] Békési B., Gajdács L., Knapiczius A., „Drónok meghajtás szerinti lehetséges szerkezeti felépítései," Repüléstudományi Közlemények. 1. sz. pp. 257-274. 2023. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2023.1.18
[7] Békési B., Juhász M., „Pilóta nélküli légijárművek energia forrásai," Economica, 7. évf. 1. sz. pp. 92–100. 2014. Online: https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2014/7/1/4311
[8] Békési B., Major G., „A drónok konfigurációi, alkalmazási területei," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2022: Konferenciakiadvány. Nyíregyháza, 2022.06.02. (Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, Magyar Tudományos Akadémia [MTA] Debreceni Területi Bizottság [DAB] Műszaki Szakbizottsága), Páy G. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 301–307.
[9] Békési B., Náczi R., „Hagyományos rendszerű és több elektromos energiát igénylő repülőgépek," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014, Pokorádi L. szerk. Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2014. pp. 109–119.
[10] Békési B., Seres J., „Drónok alkalmazásának lehetőségei," Repüléstudományi Közlemények, 3. sz. pp. 5–19. 2020. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.1
[11] C. Zhang et al., „A Comprehensive Review of Electrochemical Hybrid Power Supply Systems and Intelligent Energy Managements for Unmanned Aerial Vehicles in Public Services," Energy and AI, 9. évf. 2022. Online: https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100175
[12] F. Outay, H. A. Mengash, M. Adnan, „Applications of Unmanned Aerial Vehicle (Uav) in Road Safety, Traffic and Highway Infrastructure Management: Recent Advances and Challenges," Transportation Research Part A: Policy and Practice, 141. évf. pp. 116–129. 2020. Online: https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.018
[13] H. Danuta, J. Ulam, „Electric Dry Cells and Storage Battery," United States Patent Office, 3,043,896. 1962. Online: https://patentimages.storage.googleapis.com/d4/77/09/d50c5d9098da6d/US3043896.pdf
[14] H. Zhang, X. Li, H. Zhang, „Li–S and Li–O_2 Batteries with High Specific Energy. Research and Development," Springer, 2017. Online: https://doi.org/10.1007/978-981-10-0746-0_1
[15] K. L. Pham et al., „The Study of Electrical Energy Power Supply System for UAVs Based on the Energy Storage Technology," Aerospace, 9. évf. 9. sz. 500. p. 2022. Online: https://doi.org/10.3390/aerospace9090500
[16] M. A. Rendón et al., „Aircraft Hybrid-Electric Propulsion: Development Trends, Challenges and Opportunities," Journal of Control, Automation and Electrical Systems, 32. évf. pp. 1244–1268. 2021. Online: https://doi.org/10.1007/s40313-021-00740-x
[17] Óvári Gy., Békési B., Fehér K., „Az elektromos meghajtású repülés lehetőségei," in XVIII. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia – 18th International Conference on Application of Natural-, Technological- and Economic Sciences. Szombathely, 2019. 05. 18. Pozsgai A., Puskás J. szerk. ELTE Savaria Egyetemi Központ, 2020, pp. 23–33.
[18] Palik M., „Pilóta nélküli légijármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben," PhD-értekezés, Budapest, Magyarország: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2007, pp. 14–19.

[19] P. Kováč, „Máig felülmúlhatatlan élettartam – EVE Li-SoCl2 elemek”. Online: www.soselectronic.com/hu/articles/eve-energy/maig-felulmulhatatlan-elettartam -eve-li-socl2 -elemek-2204
[20] R. Bolam, Y. Vagapov, A. Anuchin, „Review of Electrically Powered Propulsion for Aircraft,” in 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC2018): proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, pp. 1–6. Online: https://doi.org/10.1109/UPEC.2018.8541945
[21] Sion Power's Lithium-Sulfur Batteries Power High Altitude Pseudo-Satellite Flight. Online: https://sionpower.com/2014/sion-powers-lithium-sulfur-batteries-power -high-altitude-pseudo-satellite-flight/
[22] Sziroczak D. et al., „Conceptual Design of Small Aircraft With Hybrid-Electric Propulsion Systems,” Energy, 204. évf. 2020. Online: https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117937
[23] V. Alulema et al., „Propulsion Sizing Correlations for Electrical and Fuel Powered Unmanned Aerial Vehicles,” Aerospace, 8. évf. 7. sz. 171. p. 2021. Online: https://doi.org/10.3390/aerospace8070171

Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicles

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have been surrounded by a number of issues since their inception. Undoubtedly, the use of these devices has reformed aviation, not only for military but also for civilian use. Every day, a number of areas emerge where their existence can contribute to their efficient operation, and the satisfactory technological development of the 21st century offers the opportunity to challenge these tools in a positive way, increasing their effectiveness. The performance required is strongly linked to the choice of propulsion technology, and research and development in this area is one of the most important directions. This article discusses the possible propulsion systems, their operating principles and their main characteristics. It is important to highlight the requirements of the specific applications, so that it is necessary to select the appropriate design on this basis. Potential challenges for the future should also be taken into account. There is an increasing focus on pure electric propulsion, not only on the ground but also in the air, and hence on the energy supply of systems and its industry. This article aims to provide a comprehensive view and comparison of UAV propulsion systems from several perspectives, with all their advantages and disadvantages.

Keywords: *UAV, propulsion, battery, fuel cell*

Dr. Békési Bertold
alezredes, egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék
bekesi.bertold@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-5709-789X

Bertold Békési, PhD
Lieutenant Colonel, Associate Professor
Ludovika University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer Training
Department of Aircraft Onboard Systems
bekesi.bertold@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-5709-789X

Gajdács László százados, tanársegéd Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék gajdacs.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2334-6859	László Gajdács Captain, Assistant Lecturer Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems gajdacs.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2334-6859
Knapiczius Attila BsC-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék attila01.k@gmail.com orcid.org/0009-0001-4317-1120	Attila Knapiczius BsC Student Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems attila01.k@gmail.com orcid.org/0009-0001-4317-1120

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 157–168. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.17

Gajdács László

A drónok vizuális láthatóságának jelentősége

A hagyományos – légijármű-vezető által vezetett – repülőgépek (hagyományos légi járművek) repülése folyamán nélkülözhetetlen, hogy láthatók legyenek a környezetük számára. Ez megvalósulhat egyrészt olyan műszaki rendszerek alkalmazásával – passzív és aktív radarrendszerek –, amelyek segítségével láthatóvá, illetve beazonosíthatóvá válnak a légi forgalmi irányítás számára. Azonban ezek a légi járművek láthatóvá válhatnak különböző fénytechnikai világítások használatával is, amelynek köszönhetően vizuálisan is észrevehetők (szabad szemmel jól láthatók) lesznek közvetlen környezetük számára. A pilóta nélküli légi járművek fedélzetén találkozhatunk különböző „világítási rendszerekkel", azonban ezek alkalmazására még csak korlátozottan vannak előírások az Európai Unióban, így Magyarországon is. A drónok biztonságos integrálása a hagyományos légi közlekedési rendszerbe, illetve azonosításuk megvalósítása napjainkban is kiemelt feladatnak számít szerte a világon. Megítélésem szerint fontos lenne a pilóta nélküli légi járművek vizuális láthatósága jogi és műszaki környezetének megteremtése. Ezen publikáció ennek a problémakörnek a jelentőségére és jelenlegi állapotára kíván rávilágítani.

Kulcsszavak: *drón, láthatóság, jogszabály, repülésbiztonság, vizuális, megvilágítás*

1. Bevezetés

A repülésben nélkülözhetetlen, hogy a hagyományos légi járművek láthatók legyenek úgy nappal, mint éjszaka, valamint időjárási körülményektől függetlenül. Ez elvárható lenne a pilóta nélküli légi járművek (UA) esetében is. Azonban ennek a problémakörnek a célirányos szabályozásával, illetve ennek a szabályozáshoz illesztett műszaki megvalósításával még csak „felszínesen" foglalkoznak az illetékes jogalkotók (például az EASA[1]).

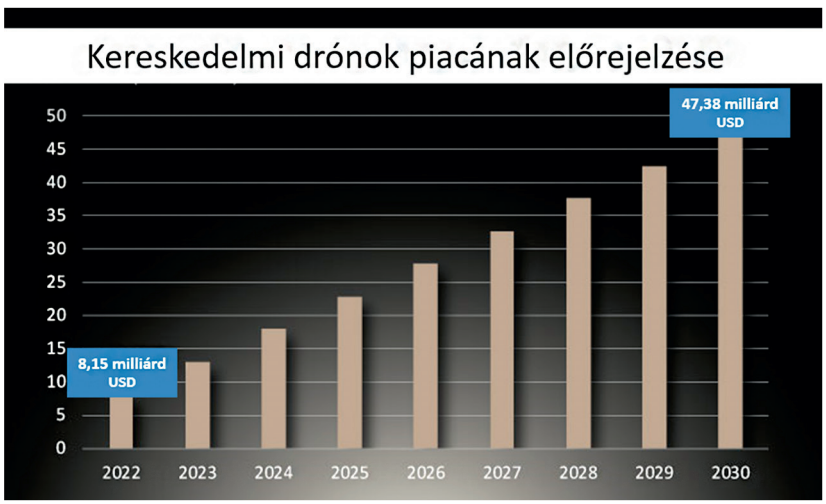
2. A drónok kereskedelmi szerepe napjainkban és a jövőt vizionálva

A kereskedelmi drónok piaci helyzetét és előrejelzését megvizsgálva látható, hogy igen jelentős, egyben folyamatos növekedés várható globális szinten. Ezeket a feltételezéseket különböző piaci elemzések rendre igazolják. A legújabb piackutatási jelentés szerint a drónszegmens vagy drónipar mint potenciális üzleti terület évről évre több millió dolláros forgalmat jelent világszerte. Ezt kívánja szemléltetni az 1. ábra.

[1] European Union Aviation Safety Agency: Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége.

A kereskedelmi drónok piacának mérete egyes becslések szerint a 2022-es 8,15 milliárd dollárról 2030-ra hozzávetőlegesen 47,38 milliárd dollárra fog növekedni, így a vizsgált 9 éves időszak végére összességében mintegy 30%-os növekedés várható. A piaci vezető szereplők eloszlása alapvetően 5 kontinensre terjed ki:

- Észak- és Dél-Amerika;
- Afrika;
- Ázsia;
- Európa.



1. ábra
A kereskedelmi drónok piaci elemzése [14], [16]

A gyártás és az abból származó bevételek jelentős része, mintegy 40%-a Észak-Amerikához tartozik, ezáltal a vezető szerepet is birtokolja a kereskedelmi felhasználásra gyártott drónok gyártói között.

A különböző kereskedelmi célú drónok gyártásában az élvonalban az alábbi cégek jelennek meg: DJI, Autel Robotics, Skydio, Intel Corporation, Parrot Group stb.

Az élet számos területén megjelennek ezek az UA-rendszerek, különböző célú feladatok megvalósítása folyamán, mint például:

- szállítás, logisztika;
- megfigyelés (energiahálózatok), nyomon követés (állatok vonulása);
- biztonság és bűnüldözés;
- média, sajtó, szórakoztatás;
- különféle iparágak (nehézipar, könnyűipar, élelmiszeripar)
- stb.

A kereskedelmi drónok kialakítását illetően megkülönböztetünk merev szárnyas, forgószárnyas és úgynevezett hibrid kialakítású pilóta nélküli légi járműveket [3], [4], [5], [6], [7]. Azonban osztályozhatjuk még őket számos szempont szerint, például méretük alapján. Miszerint vannak

a mm-nél kisebb méretű drónok és akár több 10 m nagyságú pilóta nélküli légi járművek is. Ami azonban alapvetően megkülönbözteti őket, az, hogy helyből függőlegesen (VTOL)[2] vagy vízszintesen (HTOL)[3] képesek fel- és leszállni.

Kialakításukból adódóan a legnagyobb igény a helyből függőlegesen fel- és leszállásra képes típusokra, azaz a forgószárnyas kialakítású drónokra van (*quadcopter:* négy forgószárnyas; *hexacopter:* hat forgószárnyas stb.), amelyek mintegy 80%-ban uralják a piacot [6], [11].

3. A drónok láthatóságára vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozások

Az Európai Unió tagországaiban a dróntörvényt illetően az irányelv az, hogy az EU által kiadott rendeleteken, illetve jogszabályokon az érintett tagországnak könnyítenie nem lehet, azonban adott esetben szigorítást alkalmazhatnak. Ez azt is jelenti egyben, hogy a tagországokban a drónok használatára vonatkozó jogszabályoknak nagyságrendileg egyformának kell lenniük.

A drónok jogszabályi környezetét vizsgálva az is látható, hogy különböző osztályozások léteznek, az UA-eszközöket többek között tömegük szerint is megkülönböztetik. Továbbá megtaláljuk azt is, hogy kinek milyen feltételek megléte mellett van lehetősége adott helyen és időben drónokkal különféle repülési feladatokat, műveleteket végezni, illetve hogy a drónt irányító személy (operátor) milyen távolságon belül reptetheti eszközét.

A különbség ott jelentkezik, hogy amíg nálunk (az EU-tagországokban) épphogy megemlítik a jogszabályok például a drónok láthatóságának fontosságát éjszakai műveletek esetén, addig egy másik kontinensen (Észak-Amerika) erre vonatkozólag már konkrétabb szabályozás van érvényben. Ebből az is következik, hogy az EU-s tagországokban még nincs erre vonatkozó egységes szabályozási rendszer, nevezetesen, hogy milyen tömegű és méretű drón kell hogy rendelkezzen a fedélzetén navigációs fényekkel, illetve egyéb, az összeütközésre figyelmeztető, annak elkerülését támogató fénytechnikai eszközökkel *(anti-collision light;*[4] *beacon light*[5]*).* Így joggal felvetődhet az a kérdés, hogy szükséges lenne-e ezen terület hatékonyabb szabályozására, annak érdekében, hogy minél kevesebb veszélyes megközelítés *(near miss),*[6] repülési esemény, illetve drónincidens következhessen be.

3.1. Az európai uniós jogszabályi környezet

A „Light-UAS.2530 UA External lights" jogszabály alapvetően az éjszakai üzemeltetésre vonatkozólag írja elő a különböző fényerősségű és színű lámpatestek meglétét az UA fedélzetén. Ez magában foglalja a helyzetjelző és az ütközés elkerülését támogató fényeket is. Ennek értelmében a repülési szabályoknak megfelelően a helyzetjelző fényeket a repülőgép legszélső bal (piros szín) és jobb oldali pontján (zöld szín), illetve a repülőgép legvégén (fehér szín) kell elhelyezni [19].

[2] Vertical Take-Off and Landing: függőleges fel- és leszállás.
[3] Horizontal Take-off Landing: vízszintes fel- és leszállás.
[4] Ütközést gátló fény.
[5] Jelzőfény, fényjeladó vagy villogó.
[6] Drónok repülőgépekhez történő közel repülése.

Az ütközés elkerülését szolgáló fényeket is olyan helyen kell elhelyezni, ahonnan jól észrevehetők egyéb, a közelben közlekedő légi járművek számára. Azonban ezek a légi járművek nemcsak éjszakai üzemeltetésre hivatottak, sőt inkább nappal használják legtöbbjüket, amikor szintén indokolt lenne őket megjeleníteni az égbolton, főként rossz látási viszonyok között, amikor is az esetleges másik légi járművel való összeütközésnek sokkal nagyobb a valószínűsége.

További új EU-s szabályok léptek életbe 2023. január 26-tól. Ezek lényege, hogy a drónok számára legyen biztonságos légtérkörnyezet *(U-space),* amelyben tevékenységüket, feladatukat végre tudják hajtani. Ezen légtér kialakítása többek között elősegíti az összetettebb és nagyobb távolságú repülési feladatok végrehajtását. Továbbá megteremti a pilóta nélküli és a „pilótás" légi járművek biztonságos működését ugyanazon környezetben [17].

3.2. Nemzetközi jogszabályi környezet

Az Amerikai Egyesült Államokban a drónokra vonatkozó előírásokat, irányelveket a Szövetségi Légi Közlekedési Hivatal (FAA) határozza meg. Az általa kiadott 14 CFR (Code of Federal Regulations) 107. részében taglalja azokat az előírásokat és egyben követelményeket, amelyeket alkalmaznia kell minden olyan drónnak, amely 22,68 kg-nál (50 lbs) kisebb tömegű. Ebben többek között az alábbi előírások szerepelnek, amelyeknek meg kell felelnie minden ilyen pilóta nélküli légi járműnek, illetve amelyeket minden egyes drónoperátornak be kell tartania minden egyes repülése folyamán:

- szürkületben és vagy napnyugta után történő repülés esetén a drónnak rendelkeznie kell ütközés elkerülését szolgáló világítással (fénytechnikai rendszerrel);
- jól láthatónak kell lennie a drónnak három mérföldről (mintegy 4,8 km-ről) a fedélzetén elhelyezett jelzőfényeknek köszönhetően;
- az éjszaka folyamán 400 ft (mintegy 120 m) alatti repülés esetén használhatóak stb. [20].

A fent említett és felvázolt hazai és nemzetközi jogszabályi részeket összesítve az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

A hazai és a nemzetközi jogszabályok összevetése a drónok éjszakai műveleteire vonatkozólag [a szerző]

Hazai (EU-s) szabályozás Az Európai Bizottság 2019/945 rendelete	**EU-s szabályozás Light-UAS.2530 UA External lights**	**Nemzetközi szabályozás FAA 14CFR Part 107**
az UA legyen megkülönböztethető a pilótával vezetett repülőgépektől	éjszakai repülés folyamán jól látható fényekkel kell hogy rendelkezzen a drón	szürkületben vagy napnyugta után a drónnak rendelkeznie kell ütközés elkerülését szolgáló fénytechnikai rendszerrel
rendelkezni kell a drónnak az irányíthatóságát szolgáló fényekkel	a helyzetjelző fényeknek és/vagy az összeütközést gátló fényeknek olyan intenzitásúnak kell lenniük (villogva kell működniük), hogy időben érzékelhetők legyenek egy másik légi jármű számára az ütközés elkerülése érdekében	minimum 3 mérföldes (> 4,8 km) láthatósága az „eszköznek"

Hazai (EU-s) szabályozás Az Európai Bizottság 2019/945 rendelete	EU-s szabályozás Light-UAS.2530 UA External lights	Nemzetközi szabályozás FAA 14CFR Part 107
rendelkezni kell a drónnak egy zöld villogó lámpával, amely megkülönbözteti azt a hagyományos repülőgépektől	a helyzetjelző fényeknek tartalmaznia kell egy piros színű (bal), egy zöld színű (jobb), illetve egy fehér színű fényforrást	éjjel 120 m alatti repülés engedélyezett

3.3. A drónok magyarországi jogszabályi környezete

A hazai drónszabályozás keretrendszerét is természetesen az Európai Bizottság 2019/947 (a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról) és 2019/945 (a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról) rendelete határozza meg, illetve ezen rendeletek integrálása volt kiemelt feladat az elmúlt években a hazai jogszabályi környezetbe. A három fő kategória (nyílt, speciális, engedélyköteles) mellett a „C" osztályú kategorizálást (C0–C4) is megállapították. Ez utóbbinak a tervezett bevezetése 2024. január 1. volt. Továbbá 2020. április 27-től bevezették a Bizottság 2020/1058 felhatalmazáson alapuló rendeletét, amely alapvetően a Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendeletének a pilóta nélküli légijármű-rendszerek két új osztályának a bevezetése tekintetében történő módosítását foglalja össze (C5 és C6 osztály) [1].

A rendelet többek között kitér arra, hogy a jelenleg fejlesztés alatt álló *U-space*-rendszer működéséhez szükséges egyik elemként a távoli azonosítás támogatása érdekében a különleges kategóriában üzemeltetett valamennyi UAS-t fel kell szerelni távoli azonosítási rendszerrel [3].

Az Európai Unió egyik fő törekvése a digitális világra történő átállás, amelynek a folyamata jelenleg is zajlik. Ennek egyik mérföldköve a 2022-ben Brüsszelben az Európai Bizottság által elfogadott közlemény, amelynek része többek között egy hosszú távú drónstratégia-program, amelynek megvalósítása európai ökoszisztémában valósulna meg. A közlemény kiemeli a pilóta nélküli légi járművek integrálásának fontosságát a hagyományos légi közlekedési rendszerbe. Ehhez mindenképpen szükséges a meglévő jogszabályok felülvizsgálata, átdolgozása, illetve új intézkedések megteremtése és azok bevezetése [11].

A meglévő légi forgalmi szolgáltatás (ATM)[7] és az egyesített repülési szabályok (SERA)[8] egyik fő célja a légi járművek közötti ütközések elkerülése, amely a „látni és elkerülni" alapelvre épül. Azonban a pilóta nélküli légi járművek alkalmazása során ez nem kivitelezehető, mivel légijármű-vezető nem tartózkodik a fedélzeten. Így ezt az alapelvet szem előtt tartva a drónok láthatóságának biztosítása közvetlen és közvetett környezetük számára csak az ütközések kockázatait csökkentő műszaki megoldások alkalmazásával lehetséges. Erre szolgálnak a különféle már meglévő rendszerek, amelyek azonosításra és a légi járművek nyomon követésére is alkalmasak. Alkalmazásukkal a légi járművek képesek kisugározni saját helyzeti koordinátáikat és repülési adataikat (például a repülőgép helyzeti koordinátái, aktuális

[7] Air Traffic Management: légiforgalom-szervezés.
[8] Standardised European Rules of the Air: Szabványosított Európai Légiforgalmi Szabályok.

magasság) más repülőgépek számára, illetve adott esetben vizuálisan is megjeleníteni saját fedélzetükön más légi járművek helyzeti és repülési adatait (ADS-B,[9] FLARM,[10] OGN[11] stb.).

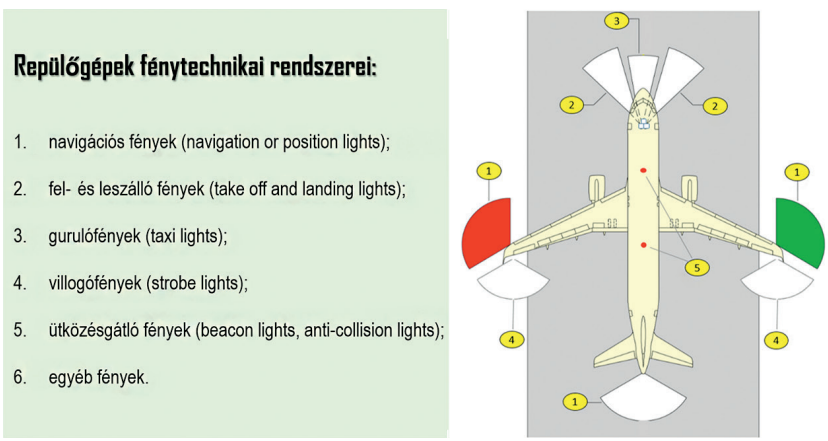
4. A légi járművek vizuális láthatósága

Drónokat megjeleníteni, láthatóvá tenni más módon is van lehetőség környezetük számára. Ezen eszközöket, ha repülésük folyamán „kivilágítjuk", megjelenítjük őket az égbolton, azonnal láthatóvá válnak. Természetesen ez a megközelítés és egyben megvalósítás nem jelenti azt, hogy bárhol és bármikor láthatók lesznek a drónok is, de nagymértékben elősegítené a repülésbiztonságot, mint ahogy hatékonyan támogatja a kis- és nagygépes repülő „társadalmat". Ezáltal a drónok „láthatatlansága" mint a repülésben meglévő veszélyforrás és az ebből eredő kockázatnak a mértéke csökkenthető lenne.

Ehhez különböző erősségű fényforrást, illetve különböző intenzitású villogtatást eszközölhetünk. Ezt az elgondolást már régóta használják a hagyományos repülésben annak érdekében, hogy a repülőgép látható legyen környezete számára napszaktól, évszaktól, illetve lehetőség szerint időjárási körülményektől függetlenül.

4.1. A repülőgépek fénytechnikai rendszerei

A továbbiakban szeretném ismertetni, hogy milyen világításfajtákkal vagy más néven fénytechnikai rendszerekkel vannak felszerelve a hagyományos repülőgépek. A 2. ábrán egy utasszállító repülőgép fénytechnikai rendszerei láthatók.



2. ábra
A repülőgépek fénytechnikai rendszerei (szerkesztette a szerző [14] alapján)

[9] Automatic Dependent Surveillance Broadcast: az ADS-B-rendszer segítségével a légi járművek adatkapcsolaton keresztül automatikusan továbbíthatnak és/vagy fogadhatnak adatokat, például azonosítási, helyzet- és kiegészítő adatokat [12].
[10] Flight Alarm: forgalomfigyelő és az összeütközések elkerülését szolgáló rendszer.
[11] Open Glider Network: egységes nyomkövetési platform.

A fent említett és a 2. ábrán megjelenített fények közül hárommal szeretnék a következőkben foglalkozni, kiemelve alkalmazásuk jelentőségét és hatékonyságát.

Mindhárom fényrendszernek külön-külön is nagyon fontos szerepe van a repülőgépek láthatóságát, illetve a repülésbiztonságot illetően. Fontos, hogy egy légi jármű nappal, éjszaka, valamint különböző időjárási viszonyok között is jól megjeleníthető legyen repülési útvonala folyamán a felszállástól a leszállásig és az adott repülőtéren történő közlekedése folyamán is.

A *navigációs vagy helyzetjelző fények* feladata, hogy a földön és a levegőben egyaránt megjelenítsék a légi járművet, úgymond pozicionálják, alapvetően éjszakai repülés folyamán. Ezeket a repülőgép felületén a legtávolabbi pontokon kell elhelyezni, mégpedig úgy, hogy a repülési irány szerint a bal oldali szárnyvég pirossal, a jobb oldali szárnyvég zöld színnel, illetve a repülőgép leghátsóbb pontja fehér színnel legyen „megjelölve". Ezeknek a fényeknek különböző szögtartományt kell lefedniük. A bal és jobb oldali fényeknek 110-110 fokot kell külön-külön, hogy bezárjanak, a hátsó fénynek pedig 140 fokot. Így a repülőgép valamelyik része látható lesz környezete számára mintegy 360 fokban (szemléltetve a 3. ábrán).

3. ábra
Légi jármű helyzetjelző és villogó fényeinek szögtartománybeli lefedettsége (szerkesztette a szerző [9] alapján)

A *villogó fények* a repülőgép szárnyvégein és a repülőgép leghátsó pontján helyezkednek el. Ezek fehér színű fények, amelyek jobb láthatóságot eredményeznek, és nem folyamatosan világítanak – mint a navigációs fények –, hanem adott időközönként adott intenzitással villogtatva vannak (a szárnyvégeken másodpercenként háromszor, a repülőgép végén másodpercenként kétszer).

A harmadik nagyon fontos fénytechnikai rendszer egy repülőgép fedélzetén *az ütközés elkerülésére figyelmeztető és annak elkerülését szolgáló fényeké,* amelyeket napszaktól függetlenül használni kell. Elhelyezésüket tekintve a repülőgép tetején és/vagy alján vannak elhelyezve. Fő rendeltetésük a láthatóság biztosítása, ezáltal az esetleges veszélyes megközelítés vagy netán ütközés esélyének csökkentése, elkerülése. Továbbá ezeket a fényeket a hajtóművek indítása előtt is be kell kapcsolni, ezáltal a földi és a légi személyzetnek is egyértelmű információval szolgálnak [14].

4.2. A drónok fénytechnikai rendszerei

A drónok „kivilágításával" kapcsolatban nem ilyen egyszerű a helyzet, mint a hagyományos vagy pilóta által vezetett repülőgépek esetében. Alapvetően azért, mert a legtöbb drón fedélzetén a legtöbb megvilágítás szerepe, hogy a működési állapotokat jelezze a drónt kezelő személy vagy drónoperátor számára. Ezeket úgynevezett *„status indicator"* lámpáknak hívhatjuk (különböző működést és üzemmódállapotokat jelző lámpák).

A pilóta nélküli légi járművek fedélzetén elhelyezett világítások funkciói, típusai (lásd 4. ábra):

1. tájékozódást, navigálást támogató funkció;
2. üzemmód- és a rendszer állapotát jelző funkció:
   - a repülési üzemmód kijelzése (P-mode, S-mode, A-mode);
   - alacsony akkumulátorszint;
   - adatkapcsolat a drón és a távirányítója között;
   - RTH[12] aktiválása;
   - az iránytű-kalibráció szükségessége;
   - IMU-hiba[13] stb.
3. az összeütközés elkerülését támogató funkció;
4. egyéb kiegészítő funkció [8].

4. ábra
Drónok fedélzetén elhelyezett fénytechnikai rendszerek funkciók szerinti csoportosítása [a szerző]

Sok esetben ezek a statikusan (folyamatosan világító) vagy dinamikusan (villogó) világító lámpák nem minden szögtartományból láthatók. Így ezek a repülőeszközök csak adott irányból és adott szögtartományból vehetők észre. Meggyőződésem szerint a problémát az jelenti,

[12] Return to Home: visszatérés a felszállási *(home)* pontra.
[13] Inertial Measurement Unit: inerciális (tehetetlenségi) mérőegység.

amit már korábban is megfogalmaztam, hogy nincs egységes előírás arra vonatkozólag, hogy milyen világítással kell hogy rendelkezzenek a drónok repülésük folyamán, főként speciális környezeti viszonyok és napszakok esetén. A kérdés egyből adódik, mégpedig az, hogy vajon elegendő-e az a hazai és nemzetközi jogszabályi keretrendszer, amely ezt a problémás területet szabályozza.

Vannak olyan országok, ahol csak azt írják elő a jogszabályok, hogy olyan világítással kell felszerelni egy pilóta nélküli légi járművet, hogy jól megkülönböztethető legyen a pilótával vezetett repülőgépektől, ezzel szemben egy másik földrészen már azt is szabályozzák, hogy éjszakai műveletek esetén rendelkeznie kell a drónnak az összeütközés elkerülését támogató fénnyel, amely alkalmazása során mintegy 5 km-es távolságból látható kell hogy legyen a drón környezete számára.

A gyakorlatban a drón típusától és méretétől függetlenül találunk részben navigációt és tájékozódást támogató fénytechnikai megoldásokat, azonban kifejezetten a drón folyamatos megjelenítését támogató helyzetjelző lámpákat, illetve az összeütközés elkerülését szolgáló lámpákat már kevésbé. Erre vonatkozó érintőleges, főként EU-s jogszabályokat csak éjszakai drónműveletekkel kapcsolatosan találunk.

4.3. Lehetséges „fénytechnikai megoldások" integrálása a drónok fedélzetére

Manapság számos helyről beszerezhetők minősített, úgynevezett kiegészítő világítások, amelyek kisebb, illetve nagyobb méretű drónokra is egyaránt felszerelhetők. Felhelyezésüket követően sokkal láthatóbbá válnak a drónok napszaktól és különböző környezeti körülményektől függetlenül, elősegítve ezáltal a repülésbiztonságot a légi közlekedésben.

5. ábra
Kiegészítő fények drónok megjelenítéséhez (szerkesztette a szerző [15], [18], [21] alapján)

Ilyen termékeket többek között az FAA is tanúsít. A vezérelv az, hogy amennyiben nincs a drón fedélzetén navigációs fény vagy egyéb, az összeütközés elkerülését támogató fényforrás, de felhelyezik ezeket a hatósági szervezet által minősített lámpákat a drón fedélzetére, akkor ebben az esetben a hatósági szervezet (FAA) engedélyezheti az éjszakai drónműveletek iránt benyújtott kérelmeket. Fontos, hogy ilyen világítások hiányában azonban elutasítja azokat. Az 5. ábrán ezek a világítástechnikai megoldások láthatók.

Ezeknek a világításoknak az előnye, hogy általában több típusra is integrálhatók, illetve több üzemmódban is képesek működni, továbbá működtethetők navigációs vagy az összeütközés elkerülését jelző fényként is. Így nem szükséges a drónok fedélzetén cserélgetni ezeket a világítástípusokat, hiszen egyszerre több célt is képesek megvalósítani működésük folyamán. Ezen világítások az alábbi követelményeknek kell hogy megfeleljenek:

- kicsi tömeg (néhány gramm) és térfogat;
- viszonylag hosszú működési idő (akár több óra);
- legalább három mérföldről történő láthatósága a hordozó eszköznek (4,8 km).

Ezek állhatnak 1, illetve akár több elemből is (utóbbiak készletként jelennek meg) a fedélzetre ideiglenesen vagy akár fixen rögzíthető változatban is. Különböző méretű és tömegű drónok fedélzetére is illeszthetők.

5. Összegzés

Napjainkban a drónok jelenléte egyre intenzívebb szerte a világon. Időről időre számtalan új alkalmazásnak lehetünk szemtanúi, kapcsolódjon az szabadidős vagy kereskedelmi célú tevékenységekhez. A statisztikai adatok, előrejelzések is jól vizionálják azt, hogy ezen eszközök felhasználása növekvő tendenciát mutat évről évre. Ez azt jelenti, hogy egyre több igény jelenik meg arra vonatkozóan, hogy ezeket az eszközöket „szabályosan" használni tudják üzemeltetőik, tulajdonosaik. Alkalmazásukkal azonban veszélyt jelenthetnek a környezetükben egyéb repülési feladatot végrehajtók számára. Ennek megakadályozásában segíthet, ha „kivilágítjuk", ezáltal megjelenítjük a pilóta nélküli légi járműveket az égbolton. Megítélésem szerint így elkerülhető lenne, de mindenképpen csökkenthető azon esetek száma, amikor is egy pilóta nélküli légi járművet nem vesz észre egy másik légijármű-vezető. Továbbá a földről is sokkal jobban láthatóvá válnának a drónok repülésük folyamán. Megoldást jelenthetne az ehhez a részhez kapcsolódó jogszabályi környezet részletesebb felülvizsgálata, célorientált átalakítása. Továbbá ezt követően kötelezni lehetne a gyártókat, hogy ilyen, a repülésbiztonságot támogató fénytechnikai világítási rendszereket integráljanak a drónok fedélzetére.

Felhasznált irodalom

[1] A Bizottság (EU) 2020/1058 felhatalmazáson alapuló rendelete (2020. április 27.) a Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendeletének a pilóta nélküli légijármű-rendszerek két új osztályának bevezetése tekintetében történő módosításáról. Online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32020R1058

[2] Access to European Union Law. Online: https://eur-lex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&lang=en&type=quick&qid=1697100668650
[3] Békési B., „Pilóta nélküli légijármű típusok sárkányszerkezeti megoldásai," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013, Pokorádi L. szerk., Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013, pp. 122–132.
[4] Békési B., „Pilóta nélküli légijárművek jellemzése, osztályozásuk," in Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek, Palik M. szerk. Budapest, Magyarország: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013, pp. 65–109.
[5] Békési B., „UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai," Szolnoki Tudományos Közlemények, 15. évf. pp. 1–11. 2011.
[6] Békési B., Major G., „A drónok konfigurációi, alkalmazási területei," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2022: Konferenciakiadvány. Nyíregyháza, 2022.06.02. (Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, Magyar Tudományos Akadémia [MTA] Debreceni Területi Bizottság [DAB] Műszaki Szakbizottsága), Páy G. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 301–307.
[7] Békési L., Békési B., „Merevszárnyú pilóta nélküli légijárművek (UAV-k)," Szolnoki Tudományos Közlemények, 17. évf. pp. 7–34. 2013.
[8] DJI download center. Online: www.dji.com/hu/downloads
[9] DroneV – Wingtip Navigation / Strobe / Position Lights for Drones and Uavs, Aveo Engineering. Online: www.aveoengineering.com/dronev/
[10] Európai Bizottság, „Az intelligens és fenntartható, pilóta nélküli légi járművek európai ökoszisztémájára irányuló 2.0-s drónstratégia". Online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0652&qid=1697101079367
[11] Gajdács L., Major G., „Katonai célú drónok fejlesztése a jelenkorban, a jövőt vizionálva," in Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III., Földi L. szerk. Budapest, Magyarország: Ludovika, 2022, pp. 101–120. Online: https://bit.ly/4b7RTcG
[12] Gajdács L., Palik M., Dudás Z., „Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai," Repüléstudományi Közlemények. 33. évf. 1. sz. pp. 157–170. 2021. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.12
[13] J. Leslie, „US Drone Statistics 2023," 2023. Online: https://dronesurveyservices.com/my-neighbour-is-flying-a-drone-over-my-house-uk/
[14] Love to fly: A Quick Guide to a Commercial Jetliner's Exterior Lights. Online: https://love2fly.iberia.com/2022/04/07/what-do-airplane-lights-mean/
[15] Lume Cube Anti-collision Drone Strobe Light Kit. Online: www.dronenerds.com/collections/parts-lighting/products/lumecube-strobe-1pk
[16] Market Research Report 2022. Online: www.strategicmarketresearch.com/market-report/commercial-drones-market
[17] Mobilitási és Közlekedési Főigazgatóság, „Hatályba lépnek a drónok számára kijelölt légtérre vonatkozó új uniós szabályok". Online: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-dedicated-airspace-drones-enter-force-2023-01-26_en
[18] PolarPro LED Light Kit for DJI. Online: https://shashinki.com/shop/polarpro-light-phantom-standard-advanced-quadcopters-p-27682.html
[19] Special Condition SC Light-UAS Medium Risk. Online: www.easa.europa.eu/en/special-condition-sc-light-uas-medium-risk

[20] Small Unmanned Aircraft Systems (UAS) Regulations (Part 107). Online: www.faa.gov/newsroom/small-unmanned-aircraft-systems-uas-regulations-part-107
[21] VIFLY Strobe–FAA Drone Strobe Light. Online: https://viflydrone.com/products/vifly-drone-strobe-light?variant=44184027005224

The Importance of Visual Visibility of Drones

Conventional or manned aircrafts need to be visible to their surroundings during their flight. On one hand, this can be achieved by using technical systems (passive and active radar systems) to make them visible and identifiable to Air Traffic Control, among others. However, these aircraft can also be made visible by using various lighting systems, making them visually visible to their immediate surroundings (clearly visible to the naked eye). Various lighting systems are used onboard unmanned aerial vehicles, but there are only limited regulations for their use in the European Union, including in Hungary. In my opinion, it would be important to create the legal and technical environment for the visual visibility of unmanned aerial vehicles. This publication aims to highlight the importance of this issue.

Keywords: *drone, visibility, legislation, aviation safety, visual, illumination*

Gajdács László	László Gajdács
százados, tanársegéd, PhD-hallgató	Captain, Assistant Lecturer, PhD Student
Nemzeti Közszolgálati Egyetem	Ludovika University of Public Service
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar	Faculty of Military Science and Officer Training
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék	Department of Aircraft Onboard Systems
gajdacs.laszlo@uni-nke.hu	gajdacs.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-2334-6859	orcid.org/0000-0003-2334-6859

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal / AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 169–175. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.18

Major Gábor, Békési Bertold

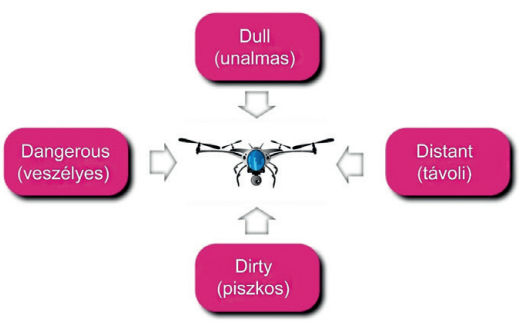
Földön, vízen, levegőben – pilóta nélkül, avagy a robotok segítenek vagy ártanak?

A robotika az első önállóan működő eszközök megjelenése óta dinamikusan fejlődő terület, amely az elmúlt évtizedekben jelentős fejlődésen ment keresztül. A tudományos-fantasztikus irodalomból származik a robotika kifejezés, amelyből az ipari alkalmazások, az orvostechnológia, illetve a fegyverkezés roboteszközei egyre kifinomultabb formában valósultak meg. Ebben az áttekintésben megvizsgáljuk a robotika területét az irodalmi gyökerektől napjaink egyre hatékonyabb és biztonságosabb felhasználásra való kifejlesztéséig. Ebben a publikációban a szerzők bemutatják, hogy milyen feladatokat milyen területeken képesek elvégezni robotizált szerkezeteink. Néhány példán keresztül bemutatjuk, hogy miben tudnak segíteni, és mikor a leginkább veszélyesek.

Kulcsszavak: *robot, drón, mesterséges intelligencia, etika, erkölcs, asimovi törvények*

1. A robot mint…

A szláv eredetű, munkát, szolgamunkát jelentő szó fizikai valójában történő megtestesülése napjainkra olyan fejlődésen, átalakuláson ment keresztül, amely gyökerestül fordította feje tetejére az élet számos területét. Megtalálhatjuk a víz alatti világban, a víz felszínén, a szárazföldön, a levegőben vagy akár a világűrben olyan tevékenységek végrehajtása közben, amelyek az ember számára veszélyesek, unalmasak, piszkosak vagy a munkavégzés helyét illetően távolinak mondhatók (4D-modell az 1. ábra alapján).



1. ábra
4D-modell a drónok felhasználásának körülményeit tekintve [5]

Nem csupán a feladat végrehajtásának helyszíne lehet ilyen változatos, de legalább ennyire színes az a feladatkör, amelyet vagy távirányítással, vagy teljesen önálló folyamatban bízhatunk rájuk [1]. Mint megannyi tevékenységhez, ehhez is társulnak negatív megnyilvánulások, kárt okozó, romboló ideológiák, próbálkozások. Mivel a robotok fejlesztésével, fejlődésével párhuzamosan számos tudományterület is hasonló lendülettel gyarapszik, így csak a józan észben bízhatunk, hogy mesterséges intelligenciával „okosított" önműködő szerkezetünk is ismeri az asimovi törvényeket[1], és sohasem támad megalkotójára, az emberiségre. Aki építi, aki használja, aki elviseli, vagy aki csupán elszenvedi a robotok társaságát, mindenkit ugyanaz és ugyanúgy foglalkoztat velük kapcsolatban, mégpedig az, hogy milyen erkölcsi, etikai problémákat vet föl, ha a jövő „gépemberei" tudattal és személyiséggel fognak rendelkezni, illetve elképzelhető-e, hogy egyszer ezek a robotok fejlettebbé válnak az embereknél, és átveszik az uralmat a világ fölött.

2. Az idáig vezető út…

Az első ipari forradalom (a találmányok kora) időszakában nemhogy robotokról, de hatékonyan működő gépekről sem igazán lehetett beszélni. A legnagyobb áttörés ezekben az időkben a mesterségesen előállított gőz munkára fogása volt. Így kialakultak azok a gépek, rendszerek, amelyek megkönnyítették, hatékonyabbá tették a termelést, lendületet adtak az ipari forradalom technológiai és gazdasági folyamatainak, majd később, a második ipari forradalom beköszöntével alapot teremtettek ezen folyamatok robotizálási lehetőségének. Ilyen, a későbbi rohamos fejlődés szempontjából elengedhetetlen felfedezés volt Faraday[2] jóvoltából az elektromágneses indukció, majd ebből a generátorok és villanymotorok megszerkesztése következett. Az elektronikai felfedezések ezen időszakában Hertz[3] kísérletileg igazolta az elektromágneses hullámok létezését, és ezzel megteremtette a rádiótechnika alapját. Mindezek nélkülözhetetlenek a mai robottechnológiában és ezen eszközök hatékony alkalmazásában. Ennek az ipari forradalomnak a végét az első világháború kirobbanása jelentette, amely nem a megtorpanást, hanem a hadiiparnak köszönhetően az ipar és az elektronika fejlődésének felgyorsulását hozta. Igaz, a gazdasági fellendülés a klasszikus értelemben megszűnt, mivel az új találmányok és technológiák kizárólag a háború szükségletei szerint születtek. A robotok gazdasági és technológiai értelemben háttérbe szorulása mellett a népszerű tudományos-fantasztikus irodalom részeivé sem tudtak válni ezekben az időkben, a 20. század hajnalán. Az irodalmi áttörést 1917-ben az automatákat ismertető *Opilec* című novella hozta Joseph Čapek[4] tollából, majd testvére, Karel Čapek[5] 1921-es drámája, a *Rossum's Univeral Robots*[6]

[1] A robotika három törvényét Isaac Asimov alkotta meg, amelyet az *Astounding* magazin 1942. márciusi számában megjelenő *Runaround* című novellájában mutatott be.

[2] Michael Faraday (Newington Butts, 1791. szeptember 22. – Hampton Court, 1867. augusztus 25.), angol fizikus és kémikus, az angol Royal Society (magyarul Királyi Természettudományos Társaság) tagja.

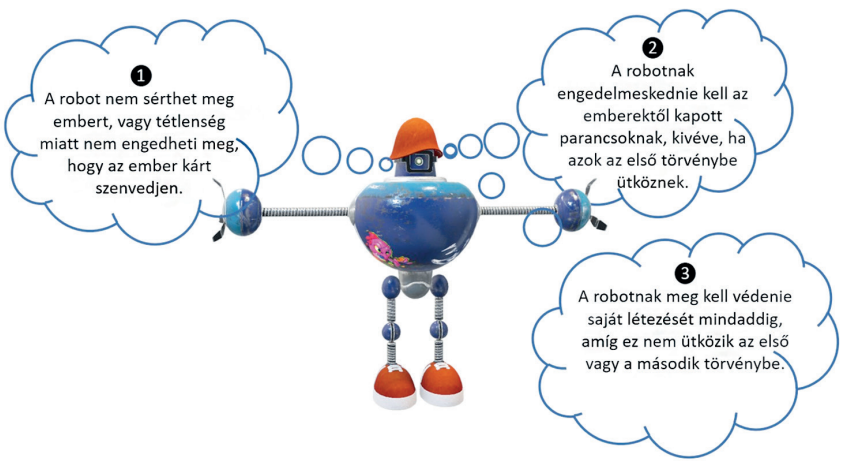
[3] Heinrich Rudolf Hertz (Hamburg, 1857. február 22. – Bonn, 1894. január 1.), német fizikus, az elektromágneses hullámok felfedezője.

[4] Josef Čapek (Hronov, Osztrák–Magyar Monarchia, 1887. március 23. – bergen-belseni koncentrációs tábor, 1945. április), cseh kubista festő, grafikus, karikaturista, díszlettervező, újságíró, műkritikus, író.

[5] Karel Čapek (Malé Svatoňovice, Osztrák–Magyar Monarchia, 1890. január 9. – Prága, 1938. december 25.), az egyik legnagyobb hatású 20. századi cseh író. Ő használta először a robot szót 1921-ben megjelent *R.U.R.* című színművében.

[6] A darab világpremierje 1921. január 2-án volt Hradec Královéban. Harminc nyelvre fordították le 1923-ig.

(RUR) tette érthetővé, értelmezhetővé a robotika fogalmát, miután széles körben bekerült a színházi darabnak köszönhetően a néptudatba [3], [4]. Ezzel együtt a Čapek fivérek akaratlanul is bevezették a modern nyelvbe a robot kifejezést, és alkotásaikkal a közvélemény érdeklődését váltották ki. Az előadást követően „elgondolkodtatónak" és „nagyon eredeti thrillernek" minősített darabbal Karl Čapek a modern technológia gyors fejlődése ellen tiltakozott, bemutatta a robotok növekvő iramú fejlődését és ezeknek a robotoknak az esetleges lázadását emberi társaik ellen. A kortárs Isaac Asimov szerint „*Čapek darabja szerintem borzasztóan rossz, de a robot szót halhatatlanná tette",* saját elmondása szerint ez a darab volt az 1938 és 1942 között megjelent novellagyűjtemény alapja és indíttatása. Bár Asimov nevéhez a robotika népszerűsítése fűződik, valójában „a robotika törvényei" kifejezetten a *RUR*-ban ábrázolt helyzetek megelőzésére készültek, mivel Asimov robotjait beépített teljes gátlással hozták létre az emberi lények bántalmazása vagy a szabályok be nem tartása ellen. A 2. ábrán olvasható törvények megalkotásával az volt a célja, hogy rendet rakjon kitalált robotjai szabad akaratában.

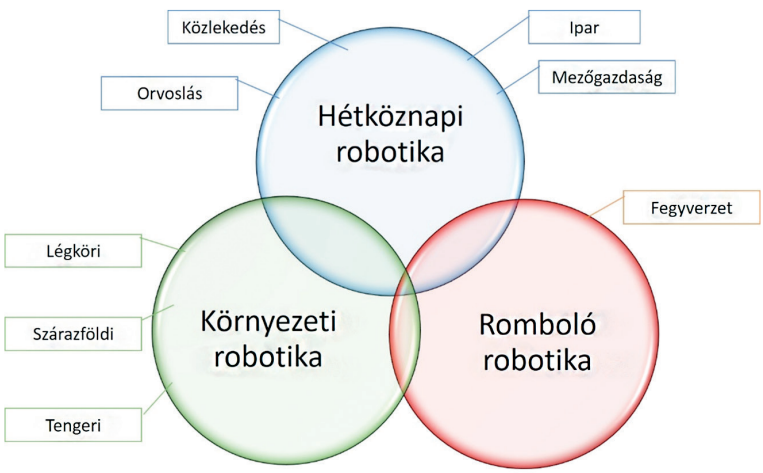


2. ábra
A robotika asimovi törvényei (szerkesztette Major Gábor)

Ezt követően a robotok irodalmi és filmes ábrázolása töretlen lendületet vett, olykor az ember barátjaként *(Star Wars),* de gyakran az ember ellenségeként *(The Terminator)* is. A Čapek által először elképzeltekhez hasonló robotok valósággá váltak, és gyári mechanikai munkavégzésre kezdték használni azokat, az emberi hibák és sérülések minimalizálása érdekében, miközben azóta bizonyítottan növelik a termelés hatékonyságát is [2]. Ez a valósággá válás 1958-ban következett be Unimate néven a General Motorsnál, amikor helyet és lehetőséget adtak a robotoknak, hogy az autógyártási szerelősorokon „kipróbálhassák magukat". Ezt az első alkalmazást követően a robotika ipari alkalmazása robbanásszerűen terjed, olyannyira, hogy azóta számos munkakörben és feladatban használták, használják, beleértve a mélytengeri és az űrkutatást, a katonai felhasználást, valamint kutatási és mentési küldetéseket. A robotikának minden esetben az a célja, hogy megkettőzze vagy javítsa az emberi funkciókat, vagy olyan szerepekben szolgáljon, amelyek túl veszélyesek a közvetlen emberi munkához (lásd 1. ábra).

3. Napjainkban…

A gyáraktól a kórházakig, a város utcáitól a hadszíntérig a robotok szinte bárhol megtalálhatók. Egyes robotokat egyszerű részmozzanatok elvégzésére terveztek, míg mások lélegzetelállító mozgások és feladatrendszerek skáláját képesek végrehajtani. A különböző típusú robotok különféle osztályozása segít leírni ezeknek a heterogén eszközöknek a világát, és közelebb vinni hozzá a felhasználókat és az érdeklődőket [1]. Ahogyan a 3. ábrán is szemléltetjük, számtalan békés és hasznos feladat végrehajtására használhatók ezek az eszközök, természetesen nem elhallgatva fegyverként történő alkalmazásukat sem. A hétköznapi robotika területe az, amivel az átlagos felhasználó találkozhat mindennapi élete, munkája és akár hobbija, szórakozása során. Ezen a területen a technika és a technológia fejlődésével hatalmas növekedés tapasztalható, amely az ipar 4.0,[7] de még inkább az ipar 5.0[8] hatására megállíthatatlan és előre megjósolhatatlan ívű pályát ír le. A 3. ábrán csupán néhány nagyobb területtel szemléltetjük, hogy miként szövik be, hatják át életünket robotizált eszközeink. A másik nagyobb területet, ahol a pilóta nélküli eszközöket fegyverként használják, a romboló robotika területének neveztük. Ez a terület sem csupán egyértelműen ártó feladatrendszert foglal magában, hiszen ha arra a felhasználási módozatra gondolunk, amikor egy ellenséges támadásra az autonóm önvédelmi képességekkel rendelkező pilóta nélküli földi vagy légi jármű megakadályozza a támadás pusztító hatását, akkor máris segítő hatását tapasztalhatjuk meg ennek az eszközcsaládnak.



3. ábra
A robotika területei (szerkesztette Major Gábor a [8] alapján)

[7] Az ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, amelynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással az értéklánc mentén: a jövő olyan „okosgyárát" hozva létre ezzel, amelyben a számítógép-vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján.

[8] Az ipar 5.0 (5. ipari forradalom) azonban az ipar 4.0-nál többet nyújt, tovább növeli a hatékonyságot és a termelékenységet azáltal, hogy újradefiniálja az emberek és a gépek közötti kölcsönhatást. Az új korszak olyan nyugodtabb, kiegyensúlyozottabb ipari valóság megteremtését célozza meg, ahol a gépek nem elveszik a munkát, hanem kifejezetten az unalmas, lélekölő, ismétlődő folyamatokat végzik el, és közben a munkások felügyelik őket.

A 3. ábrán látható harmadik terület, a környezeti robotika a környezeti kihívásokkal foglalkozik, mivel az embereknek a 21. század modern társadalmi berendezkedésében soha nem látott mennyiségű környezeti, ökológiai kihívással kell szembenézniük. A környezeti robotika a tudományok olyan területe, amely a környezeti funkcióval rendelkező robotok fejlesztésére összpontosít. Vízen, szárazföldön vagy levegőben a környezetvédelmi robotok számos olyan létfontosságú feladatot hajtanak végre, mint a vadon élő állatok megfigyelése, a légszennyezettség mérése és a hulladékok eltakarítása, hogy javítsák bolygónkat az emberi és állati élet szempontjából. Ebben a felosztásban a környezeti robotika három különálló kategóriáját mutatjuk meg: a tengeri robotikát, a szárazföldi robotikát és a légköri robotikát.

A tengeri robotika szerepet játszhat az óceánok tisztán tartásában (mint például a [6] publikációban olvasható), a tengeri élővilág felmérésében és a szélsőséges időjárási események (például a szökőár) előrejelzésében.

A földi robotok azok, amelyek környezetvédelmi feladatok ellátása érdekében különböző meghajtási rendszerrel a szárazföldön működnek. Számos felhasználási területet szolgálhatnak hatékonyan, különösen olyan területeken, mint a mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás. Az erdők szabályozzák az éghajlatot, elősegítik a biológiai sokféleséget és megakadályozzák a talajeróziót a szél és a csapadék „felfogásával". Az emberek felelőssége, hogy az erdők egészségesek és virágzók legyenek. A robotban az a leglenyűgözőbb, hogy képes csúszós vagy veszélyes terepen is biztonságosan mozogni.

A légköri robotika drónokat és más repülő robotokat használ a Föld légkörének környezeti megfigyelésére. Ezek a robotok levegőmintákat gyűjthetnek, megfigyelhetik az időjárási eseményeket és nagy magasságban légi felvételeket is készíthetnek. A levegőszennyezés hosszú távú és azonnali egészségügyi kockázatokat jelent az emberek és az állatok számára. Természetesen ez is hozzájárul a globális felmelegedéshez, és negatívan befolyásolja a terméshozamokat. Ennek feltérképezésére olyan pilóta nélküli légijármű- vagy dróncsaládot fejlesztenek ki, amely levegőminőség-figyelő képessége magába foglalja a szennyező gázok és részecskék feltérképezését, a nitrogén-dioxid mérését, a kén-dioxid, a szén-monoxid és az ózon szintjének meghatározását. A másik alkalmazási terület a Black Swift Technology repülőgépgyártó céghez köthető, amely eredetileg az Egyesült Államok Légierejének fejlesztette ki a speciális drónokat, segítve ezzel a pilótákat a kedvezőtlen szélben való navigálásban. De ez a technológia környezetvédelmi alkalmazásokra is alkalmassá vált olyan területeken, mint a talajnedvesség-térképezés és a légköri megfigyelés. A Black Swift S2 drónt tudományos hasznos terhek (például nyomás-, hőmérséklet-, páratartalom- és szélérzékelők) szállítására is alkalmassá tették, így számos alkalmazási területet biztosít az eredeti elképzelés továbbfejlesztéseként. Ezáltal bevethető a vulkáncsóvák vagy az erdőtüzek füstje légköri hatásainak felmérésére.

4. Következtetés

Míg a robotika, a robotok viselkedésének emberivé, emberközelivé válása a sci-fi filmek világában kezdődött, addig ma a robotok fontos szerepet töltenek be életünk modern mindennapjaiban. A távoli robotvezérlés koncepciójáról régóta vannak ismereteink, elképzeléseink és a megvalósításra való törekvésünk, de minél többet tudunk ebből a világból, annál több megválaszolatlan kérdéssel találjuk szembe magunkat. Azt azonban teljes bizonyossággal

kijelenthetjük, hogy ezek az automatizált robotok az élet számos területén hasznosak. Olyan szerteágazó feladatrendszerrel képesek megbirkózni, mint például a bombák hatástalanítása, a világűr és a mélytengerek felmérése, feltérképezése, valamint a csatatéren a front mögötti biztonságos menedékből a betegek kezelése – csak néhány lehetséges alkalmazás a teljes, talán még előttünk is ismeretlen alkalmazási spektrumból.

A környezeti robotika alapvető szerepet játszhat a környezeti kihívások megoldásában, akár adatgyűjtéssel, akár fizikai feladatok végrehajtásával. A legtöbb esetben környezetvédelmi robotokat használnak arra, hogy információkat gyűjtsenek a környezetről olyan tevékenységeken keresztül, mint a levegőminőség mérése, a fotózás és a mintagyűjtés. Ezt az információt aztán a kutatók felhasználhatják átfogó stratégiák kidolgozásához az olyan problémák kezelésére, mint az éghajlatváltozás, a talajerózió és az állatok kihalása.

A publikációban nem mutattuk be a robotok teljes munkásságát és tevékenységük széles spektrumának minden lehetőségét, de bizton állíthatjuk, hogy a bemutatott területek egyértelműen a segítség oldalára billentik a címben feltett kérdésre adott válaszok számát.

Felhasznált irodalom

[1] Békési B., Major G., „A drónok konfigurációi, alkalmazási területei," in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2022: Konferenciakiadvány. Nyíregyháza, 2022. 06. 02. (Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, Magyar Tudományos Akadémia [MTA] Debreceni Területi Bizottság [DAB] Műszaki Szakbizottsága), Páy G. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 301–307. Online: www.nye.hu/sites/default/files/u5/KFI/Acta7.pdf

[2] C. G. Gourin, D. J. Terris, „A robotsebészet története," in Robotika a sebészetben: történelem, jelenlegi és jövőbeli alkalmazások, R. A. Faust szerk. New York, Amerikai Egyesült Államok: Nova Science, 2006.

[3] J. Čapek, „Opilec," in Lelio A Pro Delfina. Prága, Csehország: Aventinum, 1925.

[4] K. Čapek, „RUR (Rossum univerzális robotjai)," New York, Amerikai Egyesült Államok: Penguin Group, 2004.

[5] Major G., „A pilóta nélküli légijármű rendszerek (UAS) nemzetbiztonsági célú felhasználásának lehetőségei, technikai korlátai és alkalmazásának etikai kérdései," doktori (PhD-) értekezés, Budapest, Magyarország: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2023.

[6] Major G., „A természetes vízbázisok jellemzőinek feltérképezése és védelme drónok segítségével," Polgári Védelmi Szemle, 14. évf. DAREnet projekt. Különszám, pp. 50–63. 2022. Online: www.mpvsz.hu/pv-szemle

[7] N. G. Hockstein et al., „A History of Robots: From Science Wction to Surgical Robotics". Online: https://link.springer.com/article/10.1007/s11701-007-0021-2

[8] Sphero: Environmental Robotics Examples and How They Can Help Our Planet. Online: https://sphero.com/blogs/news/environmental-robotics-examples

On Land, on Water, in the Air – Without a Pilot, or Do Robots Help or Hurt?

Robotics has been a dynamically evolving field since the first autonomous devices appeared, and has developed significantly over the past decades. The term 'robotics' originated in science fiction literature and has been used to describe robotic tools for industrial applications, medical technology and weaponry in increasingly sophisticated forms. In this overview, we will examine the field of robotics from its roots in literature to its development for increasingly efficient and safer use today. In this publication, the authors show what tasks and in what areas our robotic structures can perform. Some examples will show what they can do and when they are the most dangerous.

Keywords: *robot, drone, artificial intelligence, ethics, morality, laws of Asimov*

Dr. Major Gábor adjunktus Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X	Gábor Major, PhD Senior Lecturer Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X
Dr. Békési Bertold egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X	Bertold Békési, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 177–183. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.19

Nagy Imre

Meddig növelhető alacsony Föld körüli pályán a mesterséges holdak száma?

A mesterséges holdak száma exponenciális növekedést mutat. Míg pár éve csupán pár ezer aktív műhold, illetve nagyjából 20 000 követhető méretű törmelék keringett a Föld körül, napjainkban csak a Starlink rendszer hozzávetőlegesen 4000 tagot számlál (az aktív műholdak fele), ami a következő pár évben akár tízszeresére is növekedhet. Ráadásul a napi sajtóban 300 000 tagból álló konstelláció terveiről is lehetett olvasni.

De van-e hely alacsony Föld körüli pályán ennyi műholdnak? Ha túl közel keringenek egymáshoz a műholdak, akkor zavarhatják egymás működését, kommunikációját. Másrészt a Föld gravitációs terének gömbszimmetrikus volta, a Naprendszer égitestjei és a nem konzervatív erők okozta perturbációk miatt időről időre ütközésközeli állapotok állhatnak elő. Az alábbiakban a gravitációs eredetű perturbációk hatásának numerikus vizsgálatával adunk felső becslést arra, hogy mennyi mesterséges hold fér el alacsony Föld körüli pályán.

Kulcsszavak: *mesterséges holdak, megakonstellációk, műholdseregek, a mesterséges holdak mozgása, a mesterséges holdak gravitációs perturbációi, űrszemét*

1. Bevezetés

Az űralkalmazások piaca exponenciálisan növekedve 2021-re elérte a 469 milliárd USD-t. A piacon egyre több hazai cég van jelen. A műholdindítások éves száma nő, miközben az áruk egyre alacsonyabb. Míg korábban egy feladatra pár nagyobb műholdat használtak, újabban inkább sok kicsit. A változás kihat a műholdak üzemeltetési körülményeire is.

Pár éve „csak" néhány ezer műhold keringett a Föld körül, mára csak a Starlink rendszer 4023 tagból áll (2023. május 6.) [7]. A mesterséges holdak nem egyenletesen töltik ki a Föld körüli teret. A legtelítettebb a 35 786 km magasságban húzódó geostacionárius pálya, ahol több száz üzemel, legalább 0,1°-os közökkel, ám a legtöbb mesterséges hold 2000 km alatti magasságban, közel kör alakú pályán kering. A pályahajlások sokkal változatosabb képet mutatnak. Az egyenlítői pálya ritka, míg a poláris viszonylag gyakori. Balesetek és fegyverkísérletek miatt néhány tartományban sok törmelék kering, illetve nagyobb magasságokban temetői pályákat is találunk. Ide élettartamuk végén kerülnek a műholdak.

Egyre több és nagyobb alacsony pályára szánt műholdsereg tervei válnak ismertté [6]. A „biztosan" megvalósuló tervek között a legnagyobb a Starlink (kb. 42 000 tag). A OneWeb jelenleg 648 tagú rendszer kiépítésén dolgozik, amelyet idővel nagyjából a tízszeresére

növelnének, ám korábban 50 000 közelítő számot is említettek. Idén kezdődik Kína 13 000 tagú műholdseregének a kiépítése. A napi sajtóban már 300 000 tagból álló rendszer tervei is felbukkantak. Felmerül, hogy elfér-e ennyi műhold 2000 km alatti pályán?

A kérdés megválaszolásához megvizsgáljuk, hogy mennyire állandó a pályamagasság, illetve hogy hogyan változik a 2 azonos pályán keringő műhold közötti távolság. Az eredmények alapján megbecsüljük, hogy hány mesterséges hold fér el alacsony Föld körüli pályán.

2. A mesterséges holdak mozgása és a vizsgálati módszer

A mesterséges holdak a Föld tömegközéppontja körül keringenek, azonban ezt a mozgást több perturbáció is éri. Az alacsony pályák esetén a legnagyobb a Föld gravitációs terének nem gömbszimmetrikus volta. Jelentős még a Hold és a Nap hatása is. 450 km alatti pályákon jelentős a légköri fékeződés hatása. Itt már szükséges a magasságcsökkenés rendszeres kompenzálása a tervezett élettartam eléréséhez.

Kisebb perturbációt okoznak a bolygók. Kimutatható a Föld mágneses tere miatti elektromágneses fékeződés, valamint a Nap közvetlen, illetve a Földről és a Holdról visszaverődő sugárzásának hatása.

A gravitációs eredetű perturbációk a pálya fél nagytengelyében, az excentricitásban és a pályahajlásban periodikus változásokat okoznak. Ezek is elvezethetnek a mesterséges hold pusztulásához, mint az az Interball-1 esetében is történt [1]. A perturbációk miatt gyakorlatilag nem beszélhetünk körpályáról, mivel az excentricitás legfeljebb pillanatnyilag lehet nulla. A perigeum nem rezonáns pályák esetében körbefordul, akárcsak a felszállócsomó. A pályasík körbefordulását például a napszinkronpályák esetében ki is használjuk. Ezzel szemben a légköri fékeződés a fél nagytengely csökkenését okozza, aminek hatására hosszabb-rövidebb idő elteltével a műhold bemerül a sűrűbb légkörbe. Az excentricitás szintén csökken, azaz az elliptikus pálya körösödik.

Perturbálatlan esetben tetszőleges számú műholdat lehetne elhelyezni a Föld körül ütközésveszély nélkül, perturbált esetben a pályaelemek hely- és időfüggő változásai ütközést okozhatnak. A maximum meghatározásához elengedhetetlen a mozgásegyenletek megoldása.

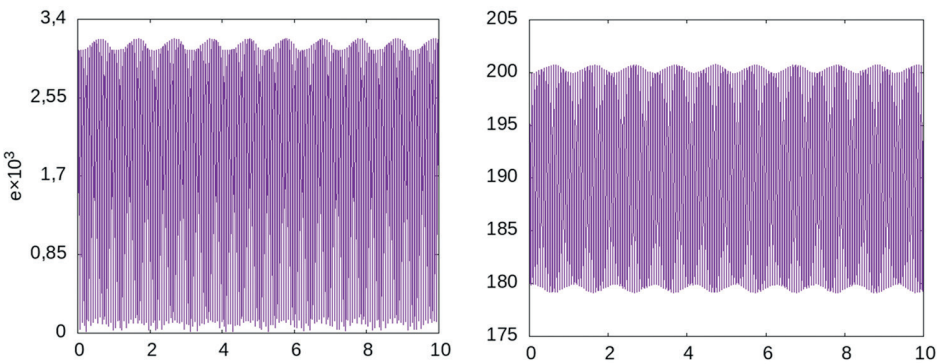
A vizsgálatok 2 részből tevődnek össze. Vizsgálni kell a pályák közötti minimális magasságkülönbséget. Ehhez megnézzük, hogy az egyes magasságtartományokban mennyivel változik a ténylegesen megvalósuló pályák pillanatnyi magassága, amiből becsülhető, hogy a 2000 km alatti tartományban hány egymás felett húzódó pálya valósítható meg.

Egy-egy pályán több mesterséges hold is keringhet, mint ahogy geostacionárius pályán is. A műholdak között szükséges minimális kezdeti távolság meghatározásához közeli párok mozgását vizsgáljuk.

Felső becslés a cél, így csak gravitációs hatásokat veszünk figyelembe, és főleg egyenlítői körpályákat vizsgálunk. A mozgásegyenletek 1000 napra történő integrálására RKN 7(8) Runge–Kutta–Nystrom–Fehlberg váltakozó lépésközű integrátort használtam [1]. A program a geopotenciált 12-ed rendig veszi figyelembe, a Hold mozgását az ELP 2000-85 elméletből [2], a Nap mozgását pedig a VSOP 87 elméletből [3] számolja. Ezt a programot korábban az Interball-1 műhold mozgásának vizsgálatára használtuk Zare-féle regularizációs eljárással kiegészítve [4]. Jelen munkához a mesterséges holdak regularizálatlan mozgásegyenleteit integráltuk, mivel körpályák esetén a regularizáció nem jár előnnyel.

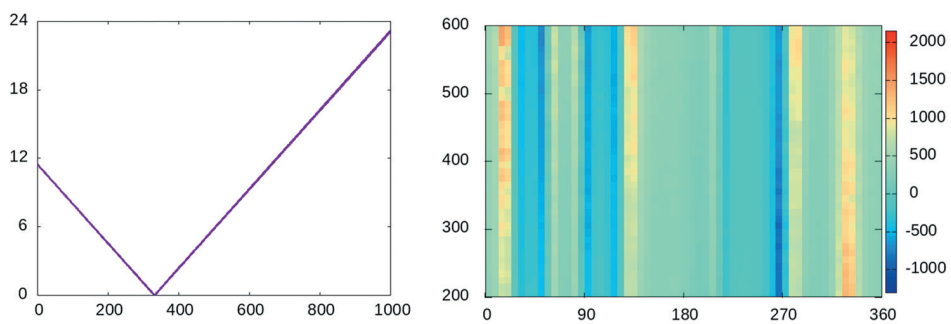
3. Eredmények

A pályaelemek tapasztalt változásai megfelelnek az elmélet alapján vártnak: a fél nagytengelyben és az excentricitásban csak periodikus változások látszanak, az inklináció pedig az 1000 nap alatt közel 0 maradt. Az 1. ábra bal oldali grafikonja a kezdetben 200 km magas körpálya excentricitását mutatja az idő függvényében. Látható, hogy az excentricitás 0 és 0,0032 között változik, és már az első periódusban 0,003-ig nő. A fél nagytengely 400 m széles tartományban változik, így a perigeum magasságában 20 km körüli változásokat várunk.



1. ábra
Az excentricitás (balra) és a pályamagasság [km] (jobbra) az idő [nap] függvényében [a szerző]

A perigeummagasság helyett célszerűbb a műhold pályamagasságát vizsgálni, amely az 1. ábra jobb oldali grafikonján látható. A változások itt is periodikusak. A bejárt magasságtartomány 21,6 km széles, ám nem szimmetrikus a kezdeti 200 km-es pályamagasságra. Ez a tartomány a kezdeti magasság emelésével csökken, 2000 km-en 16,4 km lesz. Így 2 pálya közti magasságkülönbség nem lehet kisebb, mint 21,6 km 200 km magasságban, illetve 16,4 km 2000 km magasságban. Amennyiben ki szeretnénk zárni az ütközések lehetőségét, 2000 km magasságig mintegy száz különböző magasságú pálya valósítható meg egy pályasíkban.



2. ábra
A műholdak távolságának [km] időfüggése [nap] 0,1° kezdeti szeparáció esetén (balra), illetve a T_{krit} [nap] változása a pályamagasság [km] és a fokban mért kezdőhelyzet függvényében [a szerző]

Ha adott magasságú pályára több műholdat szeretnénk juttatni, felmerül a kérdés, hogy milyen közöket kell hagyni közöttük. A kérdést vizsgálhatjuk égi mechanikai oldalról, illetve műszaki oldalról is. Míg az előbbi függ a konkrét pályáktól, az utóbbi független, így kiindulhatunk a geostacionárius pályából, ahol 0,1°-os közökkel osztják a pozíciókat. Kérdés, hogy ez alacsonyabb pályák esetén is elfogadható-e.

A 2. ábra bal oldali grafikonja a 2, 200 km kezdeti magasságú egyenlítői körpályán keringő, egymástól 0,1°-kal (11,4 km) eltérő pálya menti kezdőhelyzetű mesterséges hold közötti távolságot mutatja az idő függvényében 1000 napra. A kezdeti távolság lineárisan csökken, T_{krit} kritikus időpontban 0 lesz (ütközésveszély!), majd a továbbiakban lineárisan nő. A 2 szakasz meredeksége csak előjelben tér el, így abszolútérték-függvénnyel illeszthető.

A 2. ábra jobb oldali grafikonja a pálya menti kezdőhelyzet és a pályamagasság síkján mutatja a T_{krit} érték eloszlását színskála segítségével. A térképen alapjában függőleges struktúrák váltogatják egymást. Ez azt jelenti, hogy T_{krit} elsősorban a pálya menti kezdőhelyzettől függ, és csak másodsorban a pályamagasságtól. A magasságfüggés nem egyértelmű. Általában a magassággal nő a T_{krit} értéke, ám például 18° kezdőhelyzetnél a magasság növekedésével a korábbi értékeknél alacsonyabbak is jöhetnek. 330°-nál a magasság növekedésével már egyértelműen csökken a T_{krit}. A színskála azt is mutatja, hogy nem csak pozitív értékeket kaphatunk az illesztés eredményeként. Ilyenkor már kezdetekben is távolodik egymástól a 2 műhold. Mivel a pálya sugara nem változik, ez nem jelent könnyebbséget, mert így akkor a másik oldali szomszédhoz fog közeledni. A T_{krit} abszolút értéke 70 és 2150 nap között változik. A 70 napot alapul véve is csak nagyon alacsony (0,007 km/h) relatív sebesség adódik, amelyet elég néhány hetes időközönként korrigálni. A korrekció elmaradása esetén sem kell jelentős törmelékképződéssel járó ütközéstől tartani. Így egy pályán akár 3600 mesterséges hold is kényelmesen elfér. Ha biztosítható, hogy a műholdak ne zavarják egymás működését, illetve kommunikációját, akkor ez a szám növelhető, akár a kétszeresére is.

4. Következtetések és összefoglalás

Az egyenlítői síkban húzódó körpályák vizsgálata alapján látható, hogy a pillanatnyi magasság akár több mint 20 km nagyságú változásokat is mutathat. Ez a 200 km körüli magasságú pályák esetén jelentős hatással bír, mivel a keringési idő egy részét a felső légkör nagyobb sűrűségű tartományában tölti a műhold. Ennek hatására gyorsan fékeződik, és az egyre drasztikusabbá váló sebességvesztés miatt 1-2 napon belül elpusztul.

A pályamagasság változásának másik következménye, hogy az egy síkban húzódó pályák magasságát nem lehet tetszőlegesen megválasztani. Ha túl közel vannak az egymás feletti pályák, akkor az egyes mesterséges holdak által bejárt tartományok átfednek, így lesz olyan térrész, ahol időnként mindkettő megtalálható. Ebben a közös tartományban nagy lesz az ütközés veszélye. Az ütköző testek közötti sebességkülönbség 200 km magasság esetén akár 180 km/h is lehet. Ilyen relatív sebességű ütközés esetén nagy mennyiségű törmelék keletkezhet, ami nem megengedhető a többi műhold védelmében.

A pillanatnyi magasság változása ily módon meghatározza, hogy hány pályát lehet megvalósítani a vizsgált 200 km és 2000 km közötti magasságtartományban. Figyelembe véve a műhold által bejárt magasságtartomány függését a pályasugártól a vizsgált tartományban nagyjából 100 különböző magasságú pálya alakítható ki. Ez csak elméleti lehetőség, mert

a korábban pályára állított műholdak egy része aktív élettartamuk végeztével is pályán maradt. Ezek az inaktív mesterséges holdak irányíthatatlanok, így a jelenleg aktív, illetve a majdan pályára kerülő műholdak pályáját kell hozzájuk igazítani. További problémát jelent a korábbi balesetek, illetve űrfegyverkísérletek során keletkezett nagy mennyiségű törmelék.

Mivel geostacionárius pályán 0,1°-os szeparációval keringhetnek a mesterséges holdak, érdemes megvizsgálni, hogy alacsonyabb pályán is tartható-e ez a szeparáció. Az azonos pályán keringő, de különböző pálya menti kezdőhelyzetű műholdak egymástól mért távolsága időben változik. Ezt a változást abszolútérték-függvénnyel lehet leírni. A függvény minimuma 0, azaz a 2 műhold bizonyos időpontban összeütközik. Ez a minimum az integrálás kezdőpillanatához képest pozitív és negatív irányban is lehet, függően a pálya menti kezdőhelyzettől, ami arra utal, hogy a pálya menti sodródást a geopotenciál gömbszimmetrikustól való eltérése okozza. Mivel az egyenlítői síkban az ütközés a kezdőpillanat után legalább 70 nappal következik be, legfeljebb 0,007 km/h sebességű mozgásról van szó. Ilyen alacsony sebességek mellett a 2 műhold ütközése csak minimális sérüléseket okozhat, de továbbra is kerülendő. Mivel legalább 70 nap telik el az indítás és az ütközés között, elég lehet néhány hetente kompenzálni a sodródás hatását. Összehasonlításul: egy 200 km magas pályán keringő műhold élettartama a légköri fékeződés miatt 1,2 nap pályakorrekció nélkül. A 2 időtartam nagyjából 320–450 km között esik egy nagyságrendbe. Ezek alapján egy pályán akár 3600 műhold is keringhet rendszeres pályamódosítást feltéve. Ehhez természetesen szükséges, hogy minden műholdra hajtóművek kerüljenek.

Összegezve: alacsony Föld körüli pályán 360 000 műhold is elhelyezhető egy síkban. Felmerül a kérdés, hogy több pályasík alkalmazása mennyivel emeli ezt a számot. Lényeges, hogy n darab azonos magasságú pálya n(n–1) csomópontban metszi egymást. A metszéspontok térbeli helyzete nem állandó, mert a perturbációk hatására a 0-tól különböző inklinációjú pályasíkok körbefordulnak. Ez kizárja, hogy a metszéspontokon a különböző pályasíkokon keringő műholdak felváltva, egymástól kellő távolságban haladjanak át. A pontokban nagy az egyes pályasíkokon keringő műholdak közötti sebességkülönbség, így egy esetleges ütközés nagy mennyiségű törmelékképződéssel járna. Ha a 2 pályasík oszcillációs tartománya csak részlegesen fed át, akkor az ütközés valószínűsége csökkenthető, de nem küszöbölhető ki. Vagyis a metszéspontok környezetében nagyon fontos szerep hárul a forgalomirányításra. Amennyiben sikerül megoldani a forgalomirányítás kérdését, egy magasságban 2, esetleg 3 pályasík engedhető meg reálisan. Ez a szám duplázható, ha olyan pályasíkokat választunk, amelyek azonos sebességgel fordulnak körbe. A pontos szám meghatározása további vizsgálatokat igényel.

Mindent összevetve alacsony Föld körüli pályán 6 × 100 × 3600 (kb. 2 000 000), esetleg 6 × 100 × 7200 műhold számára van hely. Ezt a számot csökkenti, hogy bizonyos tartományok használhatatlanok az ott keringő „zombi" műholdak, illetve törmelékek miatt. Szükséges továbbá a légköri fékeződés hatásának gyakorlatilag folyamatos kompenzálása, amelyhez célszerű ionhajtóművet használni. Szóba jöhet légköri gázokkal táplált ionhajtóművek alkalmazása is, amely jelentősen csökkenti a szükséges hajtóanyag mennyiségét, illetve növeli a műhold élettartamát [5]. A jelenleg „biztosan" megvalósuló rendszerek összességében a becsült maximumnál lényegesen kevesebb tagból állnának, tehát még nem beszélhetünk zsúfoltságról. Azonban a sajtóhírekben felbukkanó 300 000 CubeSatból álló rendszer már okozhat bonyodalmakat.

Felhasznált irodalom

[1] E. Fehlberg, „NASA Technical Report R-432," 1974, pp. 1–84.
[2] M. Chapront-Touzé, J. Chapront, „Elp 2000-85: A Semi-Analytical Lunar Ephemeris Adequate For Historical Times," Astronomy and Astrophysics, 190. évf. pp. 342–352. 11 p. 1988.
[3] P. Bretagnon, G. Francou, „Planetary Theories in Rectangular and Spherical Variables: VSOP87 Solution," Astronomy and Astrophysics, 202. évf. pp. 309–315. 7 p. 1988.
[4] Nagy I., Érdi B., „Numerical Investigation of the Orbit of Interball-1," Astronomische Nachrichten, 328. évf. 8. sz. pp.793–796. 4 p. 2007. Online: https://doi.org/10.1002/asna.200710811
[5] Nagy I., „Légköri gázokkal táplált ionhajtóművek," Repüléstudományi Közlemények, 31. évf. 1. sz. pp. 213–222. 10 p. 2019. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.17
[6] Nagy I., „Megakonstellációk," Repüléstudományi Közlemények, 33. évf. 2. sz. pp. 31–44. 14 p. 2021. Online: https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.3
[7] Wikipedia The Free Encyclopedia: List of Starlink and Starshield launches. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Starlink_and_Starshield_launches

How Far Can the Number of Artificial Moons in Low Earth Orbit Be Increased?

The number of artificial moons is increasing exponentially. While a few years ago only a few thousand active satellites and roughly 20,000 traceable pieces of debris orbited the Earth, today only the Starlink system has approximately 4,000 members, which may increase tenfold in the next few years. In addition, in the daily press you could also read about the plans of a constellation of 300,000 members.

The question arises, is there room in low Earth orbit for so many satellites? We can examine the question from several angles. If the satellites orbit too close to each other, they can interfere with each other's operation and communication. On the other hand, due to the deviation of the Earth's gravitational field from being spherically symmetric, perturbations caused by the celestial bodies of the Solar System and non-conservative forces, near-collision conditions may occur from time to time. In the following, we give an upper estimate of how many artificial moons fit in low Earth orbit by numerically examining the effect of gravitational perturbations.

Keywords: *artificial satellites, mega-constellations, motions of artificial satellites, gravitational perturbations of artificial satellites, space debris*

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

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 185–193. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.20

Kavas László, Varga Béla, Tóth József

Kapcsolat a különböző gázturbinás hajtóművek és a SAF[1]-tüzelőanyagok használatához kapcsolódó károsanyag-kibocsátás között

A publikációban arra a kérdésre keresik a szerzők a választ, hogy meghatározható-e markáns különbség, illetve sajátosság a különböző gázturbinás hajtómű-konstrukciók között a károsanyag-kibocsátási jellemzők területén, amennyiben a jelenleg használatba került alternatív tüzelőanyagok valamelyikével történik a hajtóművek üzemeltetése. A mai napig a légi közlekedés környezetkímélő módjának megvalósításában kulcsszerepet játszanak a különböző alternatív tüzelőanyagok. Az eddigi fejlesztések során mind a szintetikus úton előállított, mind a biológiai eredetű gázturbina-hajtóanyagok körében az úgynevezett SAF-kategóriába sorolható tüzelőanyag-változatok alkalmazására került sor a legelterjedtebb mértékben. A prezentáció néhány légijármű-típusban alkalmazott hajtóműváltozat üzemeltetése során a kimutatott károsanyag-kibocsátásban tapasztalt változási trendeket vizsgálja.

Kulcsszavak: *alternatív tüzelőanyag, gázturbinás hajtómű, károsanyag, SAF, légi közlekedés*

1. Alternatívtüzelőanyag-helyzetkép

„*Tüzelőanyagnak nevezzük azokat az energiahordozókat, amelyből égés (oxidáció folyamat) során hőenergia szabadul fel.*" [7] Ehhez a mondathoz csak annyit tennék hozzá, hogy repülésnél ezt a hőenergiát alakítjuk át a tolóerő létrehozásához.

1.1. A légi járművek tüzelőanyagairól általában

A hagyományos tüzelőanyagok közismerten kőolajszármazékok, folyékony szénhidrogén, kén, nitrogén és egyéb kémiai elemek elegyei, amelyek ezeken kívül tartalmazhatnak még vizet és egyéb szennyező anyagokat is.

A kőolaj-finomítás során nyert különböző tüzelőanyagok az 1. táblázatban láthatók:

[1] Sustainable Aviation Fuels – fenntartható légijármű-tüzelőanyag.

1. táblázat
A kőolaj-finomítás során nyert termékek [szerkesztette Kavas László]

Ssz.	Hőmérséklet	Szénatomszám	Hajtóanyag
1.	40–70 °C	C_1–C_4	metanol
2.	40–120 °C	C_5–C_{10}	repülőbenzin
3.	40–180 °C	C_5–C_{10}	benzin (gázmotor)
4.	120–140 °C	C_{11}–C_{12}	JP4 (katonai kerozin)
5.	210–280 °C	C_{11}–C_{12}	JP1 (polgári kerozin)
6.	200–360 °C	C_{13}–C_{20}	gázolaj

Jelenleg a légi járművek kivétel nélkül folyékony üzemanyagot használnak, ezen belül is a legszélesebb körben elterjedt 2 hagyományos tüzelőanyag: a repülőbenzin, amelynek fűtőértéke 43 000–44 000 kJ/kg, és a repülőpetróleum, amelynek fűtőértéke 42 000–44 600 kJ/kg között mozog.

1.2. A légi járművek alternatív tüzelőanyagai

A légi közlekedési ipar jelenleg az ASTM D7566 szabvány szerint használja az olyan „alternatív tüzelőanyagok" meghatározást, amelyeket már az iparág jóváhagyott, és a kereskedelmi repülőgépekben való használatra biztonságosnak minősülnek. Ez idáig 5 különböző hajtóanyag-előállítási módot definiáltak:

- a Fischer–Tropsch-féle hidroprocesszált szintetikus paraffinos kerozin (FT-SPK)[2];
- a hidroprocesszált észterekből és zsírsavakból szintetizált paraffinos kerozin (HEFA-SPK)[3];
- a hidroprocesszált erjesztett cukrokból előállított szintetizált izoparafinok (HFS-SIP)[4];
- a nem kőolajforrásokból származó könnyű aromás anyagok alkilezésével előállított szintetizált kerozin (SPK/A)[5];
- az alkoholból származó szintetikus paraffinos kerozin (ATJ-SPK)[6] [1], [8].

Megemlítendő, hogy számos olyan egyéb tüzelőanyag-előállítási módot is ismerünk, amely jelenleg jóváhagyási fázisban van, és ezeket főként keverőkomponensként határozzák meg a gyártók:

- HDO-SAK[7] – bioformázó folyamattal készülő hajtóanyag, amely a vizes szénhidrátoldatokat aromás szénhidrogének keverékévé alakítja a HydroDeOxygenation néven leírt eljárással;
- CHJ[8] – katalitikus hidrotermolízises sugárhajtómű-tüzelőanyag: a katalitikus hidrotermolízis és a vízfeldolgozás kétlépéses folyamata, ahol a bioolajokat (a vizet magas hőmérsékleten és nyomáson, katalizátorként használva) szénhidrogénekké alakítják;

[2] Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene.
[3] Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene.
[4] Hydroprocessed Fermented Sugars to Synthetic Isoparaffins.
[5] Synthetic Paraffinic Kerosene with aromatics.
[6] Alcohol-to-jet Synthetic Paraffinic Kerosene.
[7] Hydro Deoxygenated Synthetic Aromatic Kerosene.
[8] Catalytic Hydrothermolysis Jet.

az alkilezés során aromás anyagok keletkeznek, így lehetséges, hogy az üzemanyagot keverés nélkül is fel lehet használni;
- HFP-HEFA[9] – magas fagypontú HEFA (más néven Green Diesel): hidrogénezésből származó megújuló dízelt használnak a repülőgép-hajtóanyaghoz keverőszerként [1], [8].

Az alternatív repülőgép-tüzelőanyagokon belül napjainkra egy megkülönböztetett kategória, a SAF kiemelt fontosságot szerzett. Egy tüzelőanyag-fajtát akkor nevez a légi közlekedés fenntarthatónak, ha az az éghajlatváltozást nem befolyásolja az életciklusa alatt levegőbe kerülő szén-dioxid-mennyiséggel, folyamatos előállításával az ökológiai egyensúlyt nem borítja fel, és a természeti erőforrásokat nem meríti ki.

Érdemben ez az a tüzelőanyag-fajta, amelytől rövid távon a csökkentett károsanyag-kibocsátással történő légijármű-üzemeltetést várja a légi közlekedési iparág.

Az 5 féle SAF mindegyike más-más gyártási folyamat alapján készül:
- alkoholból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- olajból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- gázokból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- cukorból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag;
- hulladékból előállított sugárhajtómű-tüzelőanyag [1], [8].

Az eltérő alapanyagokból kiindulva azonban a kapott hajtóanyag a hagyományos repülőgép-tüzelőanyaggal keverve megfelel a hagyományos légijármű-hajtóanyagra vonatkozó előírásoknak.

2. A gázturbinás hajtóművek családja

A mai polgári és katonai repülőgépek modern, nagy hatásfokú gázturbinás hajtóművekkel működnek [9], [10]. Emellett a segédhajtóművek (APU)[10] is kisebb, de hasonló tervezési elveken alapuló hajtóművek, amelyek szintén kellően megbízhatóak. Bár a tolóerő- (vonóerő-) képzés szerint valamennyi propulziós rendszer (hajtómű) azonos alapelv szerint működik, szerkezeti kialakításukban vannak különbségek.

A gázturbinás hajtóművek a belső égésű motorok csoportjába tartoznak (1. ábra). A kompresszor és a turbina, valamint köztük az égőtér valamennyi gázturbinás hajtómű szerves része, amelyet magnak neveznek.

Az első gyakorlatban alkalmazott gázturbinás hajtóművek esetében a tolóerő létrehozásának eszköze a hajtómű utolsó részegysége, az úgynevezett fúvócső volt. Ezzel meg is született a gázturbinás hajtóművek első kategóriája, nevezetesen az egyáramú gázturbinás sugárhajtómű. Hamarosan azonban megindult további specializálódásuk, és 3 újabb jól elkülöníthető kategória jelent meg. Ezek a turbólégcsavaros hajtóművek (légcsavaros gázturbina), a kétáramú sugárhajtóművek és a tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbinás hajtóművek. Az említett eszközök angol terminológia szerinti elnevezése rendkívül rövid és tömör, nevezetesen az előbbi sorrend szerint *turbojet, turboprop, turbofan* és *turboshaft* hajtóművek.

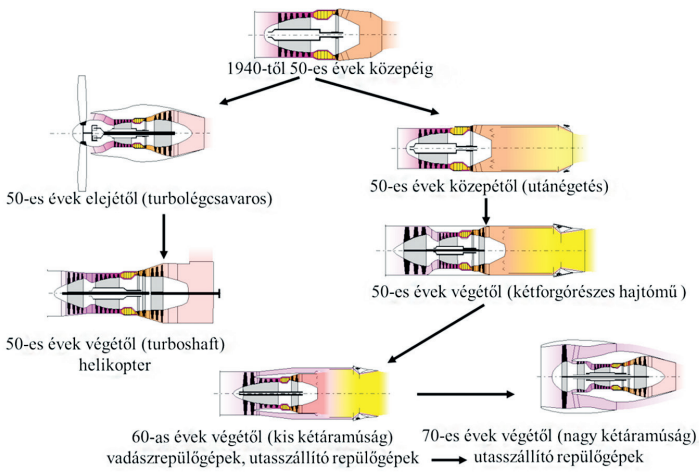
[9] High Freeze Point Hydroprocessed Esters and Fatty Acids.
[10] Auxiliary Power Unit.

2.1. Kis kétáramúsági fokú hajtóművek

Manapság a kis kétáramúsági fokú hajtóműveket főként a többfeladatú harcászati repülőgépek erőforrásaiként használják. Szuperszonikus repülési sebességre is képesek, repülési feladataikat 0–18 000 m magasságtartományban végzik. A kisebb méretű, kis kétáramúsági fokú hajtóművek jellemzően utánégető nélkül a kiképző, könnyű harcászati repülőgépek erőforrásai.

2.2. Nagy kétáramúsági fokú hajtóművek

Manapság utasszállító repülőgépeken (és néhány katonai szállító repülőgépen) alkalmaznak kis fajlagos tolóerejű/nagy kétáramúsági fokú hajtóműveket. Működési körülmények tekintetében a maximális repülési sebesség megközelítheti a hangsebesség 95%-át, a repülési magasság 0–12 500 m tartományban változhat. Ezek a hajtóművek összességében több 10 000-es nagyságrendben szolgálják a polgári és a katonai repülést is.



1. ábra

A gázturbinás hajtóművek fejlődési folyamata [8]

2.3. Turboshaft hajtóművek

Az 50-es évek második felétől kezdődően a helikopteres repülésben a dugattyús motorokat a „turboshaft" hajtóművek váltották fel. Erre az időszakra kialakult ennek a gázturbina-kategóriának a ma is alkalmazott klasszikus elrendezése, amely leginkább a szabadturbina alkalmazásában nyilvánult meg. Az úgynevezett gázgenerátor-egység (kompresszor, égőtér, kompresszorturbina) nincs mechanikai kapcsolatban a szabadturbinával, ami lehetővé teszi, hogy a forgószárny fordulatszáma független legyen a gázgenerátor-egység fordulatszámától. Ennek megfelelően a szabadturbina csak gázdinamikai kapcsolatban van a gázgenerátor-egységgel, vagyis a kompresszorturbinán munkát végző közeg maradék energiája a szabadturbinában hasznosul, biztosítva a szükséges tengelyteljesítményt.

2.4. Kisegítő hajtóművek (APU)

A segédenergia-egységek olyan kis méretű gázturbinák *(turboshaftok),* amelyek a tolóerőképzéshez közvetlenül nem kapcsolódnak, és alapvető feladatuk a fedélzeti energia biztosítása (elektromos, pneumatikus, hidraulikus).

2. táblázat
A vizsgált gázturbinás hajtómű-kategóriák releváns paraméterei [szerkesztette Varga Béla]

Jellemző paraméterek	alacsony kétáramúsági fokú hajtómű	nagy kétáramúsági fokú hajtómű	turboshaft hajtómű	APU
Tolóerő [kN]/teljesítmény [kW]	50–80 kN	50–500 kN	200–3700 kW	400–1000 kW
Tömegáram [kg/s]	60–100	300–1500	2–15	0,5–3,5
Kompresszor nyomásviszony	25–35	25–45	7–16	3–5
A turbina előtti gázhőmérséklet [K]	1600–1900	1400–1800	1100–1500	1100
Termikus hatásfok [%]	>40	40–50	25–35	~20–25

3. Károsanyagkibocsátás-csökkentési eredmények

Mint ahogy az a fentebbi táblázatból is érzékelhető, a hajtóművek közötti különbségek jelentősek (nyomásviszonyok, hatásfokok). A hajtómű kora/ledolgozott üzemideje, az utolsó nagyjavítás óta eltelt idő és a tüzelőanyag-rendszerbeli alkatrészek (például a fúvókák tisztasága) is befolyásolhatják az égést és következésképpen a károsanyag-kibocsátást. A tesztsorozatok esetében a kibocsátásban bekövetkező változások a tolóerő-beállításokon alapulnak. Általános tanulságként kijelenthető, hogy az üzemanyag-kémia sokkal nagyobb hatást gyakorol a károsanyag-kibocsátásra, mint a hajtóművek közötti különbség [2].

Az alábbi oldalakon tömör összefoglalásban láthatóak az összefüggések a hajtóanyag-összetétel és a károsanyag-kibocsátás területén bekövetkezett változások között [2], [5], [6].

A mérésekhez használt tüzelőanyagokat 1 kivétellel nem tisztán használták fel, igazodtak a légitársaságok által elfogadott és alkalmazott keverékekhez.

A különböző előállítási módok függvényében eltérő keverési arányokkal lehet a hajtóműveket üzemeltetni!

A „szokásos" tüzelőanyag-keverékek:

- 100% GTL[11] tüzelőanyag;
- 50% HEFA + 50% JET A1;
- 50% HEFA + 50% növényiolaj-párlat;
- 10% FAE + 90% JET A1;
- 75% HEFA + 25% JET A1.

A tesztelési célú üzemeltetés tapasztalatait, ahol a megállapítások a tiszta JP-8 és JET A1 tüzelőanyag használatával meghatározott értékekhez viszonyulnak, a következőkben fejtjük ki.

[11] Gas-to-liquid.

3.1. A hajtóműből kilépő gázkeverék SOx[12] tartalma területen

Nagy kétáramúsági fokú hajtóművel végzett teszteknél:

- 90%-os csökkenés, ha tiszta FT-tüzelőanyagot használtak, mérsékelt csökkenés a keverék-tüzelőanyagnál [5].

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóművel végzett teszteknél:

- 50%-os csökkenés az 50/50%-ban kevert tüzelőanyagoknál [5].

3.2. A kis méretű szilárd részecske (PM2,5)[13] kibocsátásának területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL tüzelőanyag-használat során kimutatható csökkenés tapasztalható (ref. JET A1), átlagosan 86%-os csökkenés (a referencia a JP-8 tüzelőanyag használata);
- kevert tüzelőanyag esetén 66%-os csökkenés (főként alapjáraton);
- HEFA tüzelőanyag esetén: 80%-os csökkenés (ref. JP-8);
- SPK tüzelőanyag esetén: 98% csökkenés alapjáraton, 70% csökkenés 85% teljesítménynél [3].

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóműnél:

- állati zsírokból készült tüzelőanyag esetén *63% csökkenés alapjáraton, 50–70% csökkenés a hajtómű 65% teljesítményénél* [3].

A többi tesztelt hajtóműnél is kimutatható csökkenés érzékelhető.

3.3. A CO[14]-kibocsátás területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL tüzelőanyag használata során 9%-os csökkenés (ref. JP-8);
- Bio-SPK tüzelőanyagnál 5–9% csökkenés (ref. JET A1);
- HEFA tüzelőanyagnál kb. 80%-os csökkenés (ref. JP-8) [4].

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóműnél:

- állati zsírokból készült tüzelőanyag esetén *20–40% csökkenés* (ref. JP-8);
- FT-GTL és HEFA tüzelőanyagnál *0–20% csökkenés* [4].

[12] Sulfur oxides.
[13] Particulate Matter: A PM2,5 finom részecskék átmérője 2,5 mikrométer és annál kisebb.
[14] Carbon monoxide.

3.4. Az UHC[15]-anyagok kibocsátása területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL tüzelőanyagnál *40% csökkenés, ha 100% FT* (ref. JP-8), keveréknél kisebb csökkenés.

Alacsony kétáramúsági fokú hajtóműnél:

- ATJ-SPK tüzelőanyag esetén *csökkenés* tapasztalható az alacsonyabb teljesítményeken (ref. JP-8);
- bio-SPK tüzelőanyaggal *5–20% csökkenés az alacsony teljesítményeken* (ref. JP-8);
- egyéb bio-tüzelőanyagoknál *20–30% csökkenés* [2], [5].

Megállapítás: alacsony hajtómű-teljesítményeken van UHC-csökkenés.

3.5. A NOx[16]-kibocsátás területén

Nagy kétáramúsági fokú hajtóműveknél:

- FT-GTL hajtóanyagnál 10% csökkenés tiszta FT-nél, *5% csökkenés* 50%-os keverék-tüzelőanyagnál (ref. JET A1) *és 0% csökkenés,* ha a ref. a JP-8;
- HEFA tüzelőanyagnál *0% csökkenés* (ref. JP-8);
- bio-SPK tüzelőanyagnál *1–5% csökkenés* (ref. JET A1) [2].

Tesztégőterekben:

- a *bio fuel* kategória akár *70%-os csökkenést* is mutathat!

Megállapítás: a nitrogén-oxid-vegyületek esetében bármely hajtómű bármely alternatív tüzelőanyaggal csekély (0–5%) csökkenést eredményezett [2].

4. Összefoglalás

A légi járművek kisebb károsanyag-kibocsátással járó üzemeltetésének jelenlegi megvalósíthatósága az alternatív tüzelőanyagok használatához köthető. A korábban laboratóriumi körülmények között végzett méréseken kívül ma már valódi, forgalomban részt vevő repülőgép (és hajtómű) -típusok károsanyag-kibocsátási adatait is meghatározták. A károsanyag-kibocsátási vizsgálatokat különböző konstrukciójú hajtóműveknél végezték, változó tolóerő-beállításokkal. A tesztelt hajtóműüzemmódok (tolóerő-kiválasztások) a leszállás és a felszállás (LTO)[17] ciklusához kapcsolódtak. A guruló repülőgépek általában alacsony tolóerőt állítanak be (4%), a teljes tolóerőt (100%) a felszálláshoz használják. A levegőben a tolóerőt némileg csökkentik

[15] Unburned hydrocarbons – el nem égett szénhidrogének.
[16] Nitrogen oxide.
[17] Landing Take-Off.

(85%), ahogy az utazómagasságot elérik. A tolóerőt 30%-os szintre állítják a leszálláshoz való megközelítés során. A tesztek végrehajtásához ezeket a hajtóműüzemmódokat állították be.

Az APU-kon végzett vizsgálatoknál szintén három teljesítményt használnak. Ez a „terhelés nélkül"/„terhelésre készen", a „környezeti kondicionálás" és a „maximális terhelés"/„főhajtómű-indítás" teljesítményszint.

A repülőgépek fő hajtóműveit úgy tervezték, hogy a leghatékonyabban az utazóteljesítményen működjenek, mivel a tüzelőanyag-felhasználás nagy része az utazás során történik. A kisebb teljesítményű manőverek esetében, mint például a gurulás, kevésbé hatékonyak a hajtóanyag elégetése szempontjából, ezért az emissziós értékek, főként a CO és az UHC arányaiban magasabbak.

Ezzel szemben a NOx-kibocsátás magas tolóerőnél magasabb, alacsony tolóerőnél alacsonyabb. Hasonlóképpen az APU-nál a CO- és az UHC-kibocsátás magasabb a „terhelés nélkül" beállításnál és alacsonyabb a „maximális terhelésnél", míg a NOx esetében ez fordítva igaz.

Felhasznált irodalom

[1] ATAG: Beginner's Guide to Sustainable Aviation Fuel. Aviation Benefits Beyond Borders, Edition 3, November 2017. Online: https://aviationbenefits.org/media/166152/beginners-guide-to-saf_web.pdf

[2] B. A. Hamilton, „State of the Industry Report on Air Quality Emissions from Sustainable Alternative Jet Fuels," Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018. Online: https://doi.org/10.17226/25095

[3] B. Daily, C. Ginestra, „Reduced Emissions via Synthesized Aromatic Kerosene," Seattle, WA, Amerikai Egyesült Államok: ASCENT, 2015.

[4] E. Corporan et al., „Alternative Fuels Tests on a C-17 Aircraft: Emissions Characteristics, Air Force Research Laboratory," Interim Report, AFRL-RZ-WP-TR-2011-2004, Wright-Patterson Air Force Base, OH, Amerikai Egyesült Államok: 2010.

[5] E. Corporan et al., „Comparison of Emissions Characteristics of Several Turbine Engines Burning Fischer-Tropsch and Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Alternative Jet Fuels," in Proceedings of ASME Turbo Expo 2012, Copenhagen, Dánia, 11-15 June 2012. Online: https://doi.org/10.1115/GT2012-68656

[6] M. Colket et al., „An Overview of the National Jet Fuels Combustion Program," in 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 4-8 January 2016, San Diego, CA, Amerikai Egyesült Államok: AIAA SciTech Forum, 2016. Online: https://doi.org/10.2514/6.2016-0177

[7] Szabó L., „Szerkezeti és üzemanyagok jegyzet," Szolnok, Magyarország: Killián György Repülő Műszaki Főiskola, 1989, p. 148.

[8] The International Civil Aviation Organization (ICAO), „Sustainable Aviation Fuels Guide," 2017.

[9] Varga B., „A gázturbinás repülőgép-hajtóművek fejlesztési irányai I. rész," Haditechnika, 57. évf. 1. sz. pp. 14–21. 8 p. 2023. Online: https://doi.org/10.23713/HT.57.1.03

[10] Varga B., Kavas L., Rózsa B., „Repülőgép-hajtóművek hatásfokai, és hatásuk a szén-dioxid-kibocsátásra," in Repüléstudományi tanulmányok: Repüléstudományi Szemelvények 2020, Szilvássy László, Békési Bertold szerk. Budapest, Magyarország: Ludovika, 2021, pp. 307–338. 384 p.

The Relationship Between Different Gas Turbine Engines and Emissions Related to the Use of SAF Fuels

In the publication, the authors seek an answer to the question of whether a marked difference or peculiarity can be determined between the different gas turbine engine constructions in terms of emission characteristics, if the engines are operated with one of the currently used alternative fuels. To this day, various alternative fuels play a key role in the implementation of environmentally friendly aviation. During the developments so far, both synthetically produced and biologically derived gas turbine propellants, the so-called SAF (Sustainable Aviation Fuels) fuel versions were used to the most extent. The presentation examines the change trends experienced in the detected harmful emissions during the operation of the engine versions used in some types of aircraft.

Keywords: *alternative fuel, gas turbine engine, pollutant, SAF, aviation*

Dr. Kavas László egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760	László Kavas, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine kavas.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760
Dr. Varga Béla egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825	Béla Varga, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825
Dr. Tóth József egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék toth.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404	József Tóth, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine toth.jozsef@uni-nke.hu orcid.org/0000-0001-8647-3404

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 195–202. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.21

Óvári Gyula, Varga Béla, Csató Péter

A közelmúlt néhány fontos tanulsága a szállító légi járművek integrált repülőtéren történő kiszolgálásában és repülésre történő felkészítésében

A Covid–19-világjárvány 2020-as kitörése azonnali, jelentős kedvezőtlen hatást gyakorolt a légijármű-gyártásra, az ipari javításra, a repülőtéri és légi üzemeltetésre. Ez késlekedésmentes – rendszerint igen költséges – válaszlépésre kényszerítette valamennyi érintettet. Prognózisok szerint az elkövetkező években további pandémiák megjelenése is várható, ezért célszerű a most kidolgozott és bevált eljárások későbbi adaptálhatóságát áttekinteni.

Kulcsszavak: *pandémia, repülési higiénia, fülkefertőtlenítő robot, kombikabin-berendezés*

1. Előzmények

Visszatekintve az elmúlt évtizedekre a repülőgépek fedélzetén utazók esetenkénti csoportos fertőződésére – a műszaki előkészítés, az üzemeltetési hiányosságok miatt – többször volt példa. A Covid tömeges, valamennyi kontinensre egyszerre kiterjedő megjelenése azonban teljesen új helyzetet teremtett, mivel az évek óta dinamikusan növekvő légi forgalom hónapokon belül drasztikusan visszaesett. Ennek következményeként láncreakció-szerű tömeges kényszerszabadságolások, elbocsátások történtek a repülőtereken, a légitársaságoknál, a repülőiparban és a beszállítóinál.

A helyzet kezelése mindenhol és minden érintettnél rendkívül gyors, hatékony, lehetőség szerint egységes eljárások, szerkezeti módosítások kimunkálását tette szükségessé az üzemeltetőknél, a gyártóknál, valamint az ipari javítóbázisoknál, rendszerint számottevő költségek árán.

Mivel az előrejelzések szerint a Covid megszűntét követően további világjárványokra is lehet számítani [8], ezért kézenfekvő volt a következtetés: célszerű a meghozott intézkedések későbbiekben is hasznosítható repülőtér- és repülőgép-üzemeltetési tapasztalatait áttekinteni.

2. A járványmegelőzés és -elhárítás komplex kezelése

A repülés higiéniájának biztosítása folyamatos feladat, amelynek jelentősége járványok idején növekszik. Végrehajtása komplex folyamat, amely átfog az indulástól, a repülőtérre történő belépéstől az utazáson keresztül a célállomásról történő távozásig minden mozzanatot. Ilyen:

- a jegykezelés és a csomagok fel-, utazás végén kiadása;
- a megfelelő elkülönítés a várótermi elhelyezéskor és a repülőtérről távozásnál;
- a légi járművek személyzeti és utastereinek előzetes és utólagos fertőtlenítése;
- az utasterekben ülők közötti előírt szociális távolság és/vagy kellő izoláció biztosítása;
- a mellékhelyiségek (WC-k, mosdók) érintésmentes használhatósága (ajtók, vízcsapok stb.);
- a légkondicionáló rendszer szűrőinek megfelelő tisztán tartása és/vagy cseréje.

2.1. A repülőtéri utasbeléptetés

A repülőgépeken tartózkodás vírusmentesített megoldásai csak úgy lehetnek elvárt hatékonyságúak, ha a beszállást megelőzően, már a repülőtéren is biztosítottak a személyi elkülönítés feltételei [1], [5]. Ehhez fontos az utasok és a repülőtéren tartózkodók egyértelmű, egyszerű és világos tájékoztatása a rendszer működéséről, valamint az elvárt viselkedésről (például maszkhasználat, szociális távolságtartás stb.).

Már a járvány kitörése előtt a légitársaságok és a repülőterek kidolgoztak néhány digitalizált és érintésmentes eljárást a repülőtéri beléptetési, a bejelentkezési és a beszállási folyamatok gyorsítására [5] (például a digitális beszállókártyákat támogató mobilalkalmazások [1. a) ábra], az arc- és íriszfelismerést hasznosító biometrikus megoldások [1. b) ábra]).

a) b)

1. ábra
A repülőtéri utasbeszállás érintésmentessé tétele, automatizálása [5], [11]

A pandémia megjelenése fokozta az érdeklődést e technológiák iránt, alkalmazásaik elterjedését felgyorsították az olyan előírások, mint a távolságtartás és a maszkviselés.

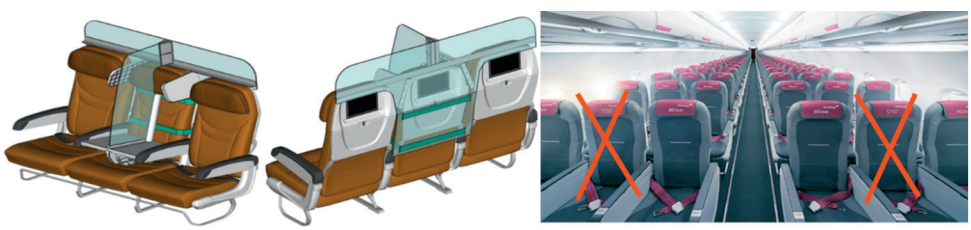
A biometrikus rendszerek és a mobilalkalmazások biztosítják az utat érintés nélkül akár a célállomásig, amihez olyan alkalmazások sorozatát fejlesztik, amelyek lehetővé teszik a mobiltelefonok távérzékelőként történő használatát, egyszerűen egy válaszkód (QR) beolvasásával a beléptetési pontok képernyőjén, de akár a Covid–19-tesztek eredménye is integrálható ide. Egyes megoldásokkal a fizikai távolságtartás megvalósítható zsúfolt területeken (például beszállókapuknál, poggyászkivételnél). A virtuális kapu tájékoztatja az utasokat arról is, amikor a sor a kapuhoz és a beszálláshoz érkezik [11].

2.2. A fertőzések terjedésének megakadályozási lehetőségei a fedélzeten

Az USA védelmi minisztériumának vizsgálata szerint (6 hónap alatt 300 teszt B-767/777 repülőgépeken), ha egy ülő utas maszkot visel, igen alacsony a koronavírus-fertőzés veszélye a repülőgépek fedélzetén, mivel ilyenkor az általa kilélegzett részecskék mindössze 0,003%-a jut el közvetlenül az utastársai feje körüli légzési zónába. A fedélzeti szellőztető-légkondicionáló rendszer HEPA-szűrői a kórokozók 99,7%-át képesek kiszűrni. Becslések szerint így az átfertőződéshez szükséges „dózis" eléréséhez 54 h-t kellene utazni egy repülőgépen, egy fertőzött személy társaságában [7]. (Ilyen rendszer utólag, a régebbi típusokba is beépíthető.)

A (koronavírus-) járvány szükségessé teszi az utasok közötti biztonsági távolság megnövelését és/vagy az egymás mellett ülők fokozott izolálását, a cseppfertőzés megelőzése érdekében.

Ennek egyik lehetséges módja a hármas ülésblokkok középső ülésének funkcionális kiiktatásával oda és az üléssor fölé átlátszó, szerves üvegfal beépítése (2. a) ábra). Ez viszont legalább 30%-os kihasználtságcsökkenést okoz, ami bevételi veszteséghez vezet. (Európában a nyereségességhez legalább 73–75%-os utasfeltöltöttség szükséges.)



a) b)

2. ábra
Utasok közötti szociális távolságtartás csökkentett helykihasználással [12]

Ezt orvosolandó a Germanwings, majd az Oman Air is minden járatán – plusz 18 euróért – blokkolható középső ülést (2. b) ábra) vezetett be (oda így nem ül senki).

Egy másik, helyvesztéssel nem járó (Janus fantázia nevű) megoldásnál a hármas blokk középső ülésének 180°-os elfordítása és átlátszó válaszfalak ebben a pozícióban történő felszerelése biztosítja az izolálást (3. a) ábra). E kialakítás hátránya, hogy vészkijárati sorban nem alkalmazható, illetve menetiránynak háttal történő utazásra többen nem hajlandóak.

a) b)

3. ábra
Egymás melletti ülőhelyek átlátszó műanyag fallal történő izolálása [12]

Valamivel alacsonyabb szintű izoláltságot biztosító lehetőség minden ülésre a menetiránynak megfelelő helyzetben a 3. b) ábrán látható módon átlátszó válaszfal felszerelése.

A koronavírus-járvány miatti visszaesett utazási kereslet következtében elég sok repülőgépet kellett a forgalomból ideiglenesen kivonni. Ezek utastereiben esetenként árut szállítottak. Ennek lehetséges egyszerű, átalakítás nélküli megoldásai:

- a dobozhalmokat az ülésekre pakolják, majd hálóval letakarva rögzítik azokat (4. a) ábra);
- az ülésekhez hevederes rakományrögzítő rendszert szerelnek, így a dobozokba csomagolt rakományon kívül nagyobb tárgyak is rögzíthetők (4. b) ábra).

E megoldások hátránya, hogy az ülésekre, lábtérbe, felső csomagtárolókba jellemzően csak kisebb tömegű áruk pakolhatók, a rakodás az utasajtók mérete miatt körülményesebb és több időt vesz igénybe. (Így érkeztek Magyarországra kínai egészségügyi szállítmányok is.)

a) b)

4. ábra
Teheráru-szállítási lehetőségek utastérben [2], [9]

Egyidejű, egy térben történő közös, biztonságos utas- és teherszállítási lehetőséget, úgynevezett kombi megoldást is kidolgoztak, amely keskeny és széles törzsű repülőgépeken egyaránt alkalmazható minimális belsőtér-átrendezéssel (5. a) ábra). A szabadon hagyott ülések vázaiba e célra készült, megfelelő méretű konténerek rögzíthetők hevederrel (5. b) ábra).

a) b)

5. ábra
Az utastér kombi kialakítása együttes utas- és teherszállításra [2], [10]

Mindezek kiegészülnek a légi jármű utasterének minden leszállást követő alapos, gondos takarításával és fertőtlenítésével. A termikus szkennerekkel együtt antibakteriális bevonatok alkalmazása is szükséges a gyakori tapintású felületek fertőtlenítésére (6. a) ábra).

a) b) c)

6. ábra
Az utastér fertőtlenítése vegyi anyaggal és UV-C-megvilágítással [3], [4], [5]

A jelenleg használatos, nem korrozív és nem gyúlékony bevonatok ezüstöt vagy titán-dioxidot tartalmaznak, és 90 napig tartanak. Vírusölő bevonatot is permetez például a repülőgép fülkéinek belső felületeire az American Airlines az utasbiztonság növelésére, amelyet elektrosztatikus eljárással visznek fel (6. b) ábra).

Robotok permeteznek védőréteget például a United légitársaságnál a repülőgépek teljes belső felületére, amely hosszan tartó réteget képez, megtapad azon, illetve száradás után mikroszkopikus tüskék alakulnak ki belőle, amelyek felszakítják a vírusok sejtfalát, ezzel elpusztítva azokat, illetve meggátolják a vírusok és a baktériumok lerakódását, valamint el is pusztítják azokat. A védőréteget minden héten frissítik a robotok segítségével.

A Honeywell a Dimer társasággal együttműködve hozta létre azt az ultraibolya (UV-C-csíraölő) fénnyel a 253,7 nm hullámhosszon fülkefertőtlenítő robotot (6. c) ábra), amely két kihajtható karról juttatja az UV-C-fényt a kezelendő belső felületekre. Az alkalmazott dózistól függően akár 90–99,9%-os hatékonysággal elpusztítja a baktériumokat és a vírusokat, és 5–8 min alatt végezhet az Airbus A320 vagy a Boeing 737 teljes belső terével.

7. ábra
A repülőgépvezető-fülke fertőtlenítése [4], [6]

A repülőgépvezető-fülke legtöbb felületét nehéz a hagyományos fertőtlenítő eljárásokkal (például folyadékkal) megtisztítani, különösen azok számára, akik nem pilóták, így nem ismerik ki magukat ott. A Boeing dolgozta ki, és tette elérhetővé a légitársaságok számára azt a 222 nm hullámhosszúságú UV-C-fényt kisugárzó hordozható készüléket, amely használatával a személyzet könnyen és gyorsan megtisztíthatja azokat a szennyezett felületeket, amelyeket megérint (8. ábra). Hatása azon alapul, hogy a DNS és az RNS károsításával teszi lehetetlenné a kórokozók túlélését. A pilótafülke ~15 min alatt fertőtleníthető vele [6].

3. Konklúziók

Figyelembe véve Földünk rohamos népességnövekedését, az egyre népszerűbbé váló és széles körben terjedő légi forgalmat, valamint az ezekkel szorosan összefüggő klímaváltozást valószínűsíthető további világjárványok megjelenése és terjedése [8]. Mindez szükségessé teszi a repülésben és a légi forgalomban a Covid tapasztalatainak felhasználását:

- új egészségügyi védekezési, fertőtlenítési eljárások kimunkálását;
- lehetőség szerint már a tervezés, gyártás során a légi járművek preventív, erre történő konstrukciós felkészítését.

Jelenleg országonként eltérő szabványok, előírások érvényesek. A fejlesztést nehezíti, költségeit növeli az egységes, szabványos irányelvek hiánya. Ezek szükségesek lennének ahhoz is, hogy a végfelhasználók megtakaríthassák kutatásra fordított idejüket, energiájukat. De az iparnak is ki kell dolgoznia olyan szabványokat, amelyek antibakteriális termékeket ajánlanak a repülőgépek számára. Ezek megléte segíti a vállalatokat az előírásos termékek kifejlesztésében, széles körű, biztonságos felhasználásában és a tranzakciós költségek megtakarításában.

Mielőbb szükséges olyan konstrukciós eljárások kimunkálása, amelyek lehetővé teszik a légi járművek belső tereinél az antibakteriális technológiával készült nyersanyagok, szerkezeti elemek beépítését (például textilszálakba, kompozit panelekbe és laminátumokba), amelyek aztán beépíthetők a késztermékekbe.

Természetesen a bevonatok és az érintésmentes technológiák csak együttesen működhetnek, mivel vannak olyan szerkezeti elemek (például a kartámaszok), ahol az érintés nélküli technológia nem helyettesítheti az antibakteriális bevonatot.

Felhasznált irodalom

[1] AIRportal.hu: Hiába van balhé néhány tömött járat miatt, a távolságtartás szinte megoldhatatlan. Online: https://airportal.hu/hiaba-van-balhe-nehany-tomott-jarat-miatt-a-tavolsagtartas-szinte-megoldhatatlan/

[2] AIRportal.hu: Új megoldással szállít árut repülőgépei utasterében a KLM. Online: https://airportal.hu/uj-megoldassal-szallit-arut-repulogepei-utastereben-a-klm/

[3] Ambrus A., „UV-fénnyel fertőtlenítik a United repülőgépeinek pilótafülkéit". Online: https://airportal.hu/uv-fennyel-fertotlenitik-a-united-repulogepeinek-pilotafulkeit/

[4] Ambrus A., „Robotok fertőtlenítik a United Airlines repülőgépeinek fedélzetét". Online: https://airportal.hu/robotok-fertotlenitik-a-united-airlines-repulogepeinek-fedelzetet/

[5] C. Chuanren, „ANALYSIS: The Rise of Sanitary and Contactless Technology Awiationweek". Online: https://bit.ly/3QprsHz

[6] E. Alert: New Study Proves Correct Dosage for Ultraviolet Disinfection Against COVID. Online: www.eurekalert.org/news-releases/951466

[7] Infostart/MTI: Szinte meg sem lehet fertőződni a repülőkön. Online: https://infostart.hu/tudomany/2020/10/17/szinte-meg-sem-lehet-fertozodni-a-repulokon?utm_source=infostart&utm_medium=email&utm_campaign=hirlevel

[8] Jakab F., „A koronavírus után új járványok jönnek". Online: https://infostart.hu/tudomany/2020/11/07/jakab-ferenc-virologus-a-koronavirus-utan-uj-jarvanyok-jonnek-video?utm_source=infostart&utm_medium=email&utm_campaign=hirlevel
[9] Kotulyák T., „Kombivá alakíthatók az utasszállítók egy új megoldással". Online: https://airportal.hu/kombiva-alakithatok-az-utasszallitok-egy-uj-megoldassal/
[10] Körtvélyes T., „Segít áruszállítóvá alakítani az A330-ast, A350-est az Airbus". Online: https://airportal.hu/segit-aruszallitova-alakitani-az-a330-ast-a350-est-az-airbus/
[11] Németh A., „Jönnek a szigorúbb légiszabályok, de nem ítélik halálra az utazgatást". Online: https://bit.ly/3JJizF0
[12] Szilágyi Á., „Újabb »távolságtartó« üléskoncepciót mutattak be". Online: https://airportal.hu/ujabb-tavolsagtarto-uleskoncepciot-mutattak-be/

Some Important Recent Lessons Regarding Transport Aircraft Servicing and Preparation for Flight at Integrated Aerodromes

Covid pandemic outbreak in 2020 had an immediate, significant, adverse impact on aircraft manufacturing, industrial repair, as well as on aerodrome and air operations. This forced all concerned to take responsive – usually expensive – actions without delay. More pandemics are predicted in the coming years, therefore, it is useful to review the newly developed and proven procedures and their future adaptability.

Keywords: *pandemics, hygiene in aviation, cabin disinfection robot, combined cabin equipment*

Óvári Gyula, CSc professor emeritus Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék ovari.gyula@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861	Gyula Óvári, CSc Professor Emeritus Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine ovari.gyula@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8604-5861
Dr. Varga Béla egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Sárkány-hajtómű Tanszék varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825	Béla Varga, PhD Associate Professor Ludovika University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine varga.bela@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-3454-0825

Csató Péter	Péter Csató
PhD-hallgató	PhD Student
Nemzeti Közszolgálati Egyetem	Ludovika University of Public Service
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar	Faculty of Military Science and Officer Training
Katonai Műszaki Doktori Iskola	Doctoral School of Military Engineering
csato.peter@stud.uni-nke.hu	csato.peter@stud.uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-9515-5376	orcid.org/0000-0002-9515-5376

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 203–210. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.22

Varga Béla

Az adaptív hajtómű-technológia megjelenése a katonai repülés területén

A múlt század 60-as éveitől mind a polgári, mind a katonai repülésben az egyszerű, egyáramú sugárhajtóműveket felváltották a kétáramú hajtóművek. Először a kis kétáramúsági fokú hajtóművek jelentek meg, majd a kétáramúsági fok folyamatosan növekedett a kereskedelmi repülőgépek kétáramú hajtóműveinél. Manapság a kis kétáramúsági fokú hajtóművek jellemzően a többfeladatú harcászati repülőgépek erőforrását képezik. Maga a hajtómű kialakítása jelentősen nem változott évtizedek óta. Ehhez képest jelenthet új szintet és igazi minőségi ugrást az adaptív hajtómű-technológia. A cikkben ezt a fejlesztési folyamatot, illetve a várt előnyöket mutatom be.

Kulcsszavak: *kis kétáramúsági fokú hajtómű, propulziós hatásfok, elfolyási ellenállás, adaptív hajtómű-technológia*

1. Bevezetés

A második világháborút követően a megnövekedett sebesség- és az azzal összefüggésben álló teljesítményigény miatt a tervezők a dugattyús-légcsavaros repülőgépmotorok helyett új megoldásokat kerestek. Ebben az útkeresésben meg kell említeni az angol Frank Whittle munkásságát, aki az első olyan gázturbinás hajtóművet készítette el, amely már minden olyan gépegységgel rendelkezett, amellyel egy mai modern gázturbinás hajtómű is. A német Hans von Ohain tervezte az első működőképes, repülőgépbe épített gázturbinás sugárhajtóművet, a Heinkel HE S3-at, amely az első sugárhajtású repülést lehetővé tette. Meg kell emlékeznünk a magyar Jendrassik Györgyről is, a Ganz-gyár mérnökéről, akinek 1938-ban megépített gázturbinája 16 400 f/min fordulatszámon és 72,5 kW teljesítménynél 21,2% effektív hatásfokot ért el [4]. Majd az 1950-es évektől kezdődően véglegesen berobbant a gázturbinás korszak a repülés területére a folyamatos fejlődés és a szerepkör szerinti szerkezeti specializálódás mellett.

2. Kétáramú gázturbinás hajtóművek (turbofan)

A múlt század 60-as éveitől mind a polgári, mind a katonai repülésben az egyszerű, egyáramú sugárhajtóműveket kezdték felváltani a kétáramú hajtóművek. A legfontosabb különbség az egyáramú hajtóművekhez képest, hogy a hajtóműbe beszívott levegő egy része elkerüli

a gázgenerátor-egységet, és a tolóerő egy része az úgynevezett külső áramban keletkezik. Ennek mértéke a kétáramúsági fokkal jellemezhető, amely a külső és a belső csatorna (gázgenerátor-egység) tömegáramainak viszonyszámát jelenti.

A Rolls-Royce Conway volt a világ első sorozatban gyártott kétáramú hajtóműve 0,3-as kétáramúsági fokkal, hasonlóan a sokkal újabb General Electric F404 (RM 12) hajtóműhöz. A prototípus 1950 januárjában készült el, később a típust Boeing B-707, Douglas DC-8, Vickers VC10 utasszállító repülőgépekbe is beépítették. Az 1960-as évek polgári alkalmazású kétáramú hajtóművei, mint például a Pratt & Whitney JT8D és a Rolls-Royce Spey kétáramúsági foka közelített az egyhez, így többé-kevésbé megegyezett a katonai változatok kétáramúsági fokával. A kétáramúsági fok tekintetében a civil és a katonai felhasználásra tervezett hajtóművek fejlesztési irányának szétválása ettől kezdve figyelhető meg.

Ez azt jelenti, hogy a tervezők eljutottak az egyáramú sugárhajtóművektől a kis kétáramúsági fokú, majd az egyre nagyobb kétáramúsági fokú hajtóművekig, előre lépve ezzel a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás csökkentésében. Más szóval a manapság utasszállító repülőgépeken (és a katonai szállító repülőgépek egyes típusain) alkalmazott kis fajlagos tolóerejű/nagy kétáramúsági fokú hajtóművek az 1960-as évektől a nagy fajlagos tolóerejű/kis kétáramúsági fokú hajtóművekből alakultak ki az évek során. Az egyre magasabb termikus hatásfokon kívül ebben kiemelt szerepet a növekvő kétáramúsági fokból származó propulziós hatásfok-növekedés jelentett.

3. Kis kétáramúsági fokú hajtóművek

Manapság a kis kétáramúsági fokú hajtóművek jobbára a többfeladatú harcászati repülőgépek erőforrását képezik. Ez utóbbi kifejezés azt jelenti, hogy ugyanaz a repülőgép (platform) többféle feladat ellátására alkalmas (például légi harc, földi támadó feladatok, légi felderítés, előretolt légi vezetés, elektronikai harc). A teljesség igénye nélkül a leggyakoribb típusok ebben a kategóriában: F-18, Rafale, Szu-30, MiG-29, JAS 39 Gripen, Eurofighter Typhoon, F-16 Fighting Falcon, F/A-18 Hornet.

A kisebb méretű kis kétáramúsági fokú hajtóművek – jellemzően utánégető nélkül – a kiképző, könnyű harcászati repülőgépek erőforrását képezik. Ez a kategória a haladó kiképzőgépek kategóriájából alakult ki, szintén lehetővé téve többfeladatú felhasználást a könnyű támadótól a felderítő feladatokig, míg közben lehetővé teszi a kiképzési feladatok megoldását is. Lassabbak, mint nagyobb társaik, általában szubszonikus sebességre képesek, illetve egyes típusok mérsékelt hangsebesség feletti repülési sebességre is alkalmasak. A teljesség igénye nélkül a legyakoribb típusok ebben a kategóriában: L-159 Alca, Hawk, Yak-130, Aermacchi MB-346, Alpha Jet.

4. Kis vagy nagy kétáramúsági fok

Láthatólag a fent említett hajtómű-család kiforrott, széles körben alkalmazott és az üzemeltetésével kapcsolatban rengeteg tapasztalattal rendelkeznek az üzemeltetők és a gyártók. Mégis vannak ennek a kategóriának olyan hátrányai, amelyeket a jelenlegi elrendezéssel

szinte lehetetlen megoldani. Ha elemezzük, hogy milyen alapvető követelményeknek kellene megfelelnie egy ilyen hajtóműnek, akkor a következő két követelményt kell kiemelni.

Egyrészt a hajtóműnek rendelkeznie kell a hagyományos jellemzőkkel, például nagy fajlagos tolóerővel az utánégető nélküli szupercirkálás *(supercrusing)* megvalósításához, illetve nagy emelkedő és gyorsulási képességgel. Másrészt a nagy (nagyobb) kétáramúsági fokú *turbofan* tulajdonságokkal csökken a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás, nő a hatótávolság és/vagy a járőrözési idő (csökken a szükséges légi utántöltési kapacitás).

Sajnos a nagy repülési sebességhez tartozó nagy fajlagos tolóerő és a jobb szubszonikus hatékonyság érdekében az alacsony fajlagos tolóerő egymásnak ellentmondó követelmény, ami nehezen feloldható probléma.

$$F = \dot{m}(w - v); \qquad \eta_{prop} = \frac{2v}{(w-v)+2v} \tag{1}$$

A (1) egyenlet jól szemlélteti ennek a lényegét. A bal oldali képletben a zárójelben lévő tag ($w - v$) a fajlagos tolóerő, ahol a (w) a fúvócsőben felgyorsított gáz hajtóműből való kilépési sebessége, (v) pedig a repülési sebesség. A propulziós hatásfok a jobb oldali képlet. Jól látható, hogy a fajlagos tolóerő a propulziós hatásfok képletében a nevezőben van, ami értelemszerűen nagy fajlagos tolóerő esetében a propulziós hatásfok csökkenéséhez vezet, de elkerülhetetlen a maximális tolóerő eléréséhez. Ugyanakkor szubszonikus járőrözéshez vagy a maximális hatótávolság (repülési idő) eléréséhez, ami sokkal mérsékeltebb tolóerő-szükségletet jelent, a fent említett okok miatt sokkal kedvezőbb lenne az alacsonyabb fajlagos tolóerő. Sajnos a tolóerő csökkentésekor ez nemcsak a fajlagos vonóerő csökkenéséből származik, hanem a tömegáram ($\dot{m}$) csökkenéséből is. Ez azonban további veszteség létrejöttét is felveti.

Ez abból adódik, hogy a szívócsatornát úgy méretezik, hogy átengedje a maximális közegáramot, amelyet a hajtómű igényelhet, és minden egyéb esetben a hajtómű tényleges levegőfogyasztása és a maximális levegőfogyasztás közötti mennyiséget elengedje a szívócsatorna mellett. Ez ellenállás-növekedéssel jár, amelynek az angol kifejezése „*spillage drag*" (elfolyásból származó ellenállás).

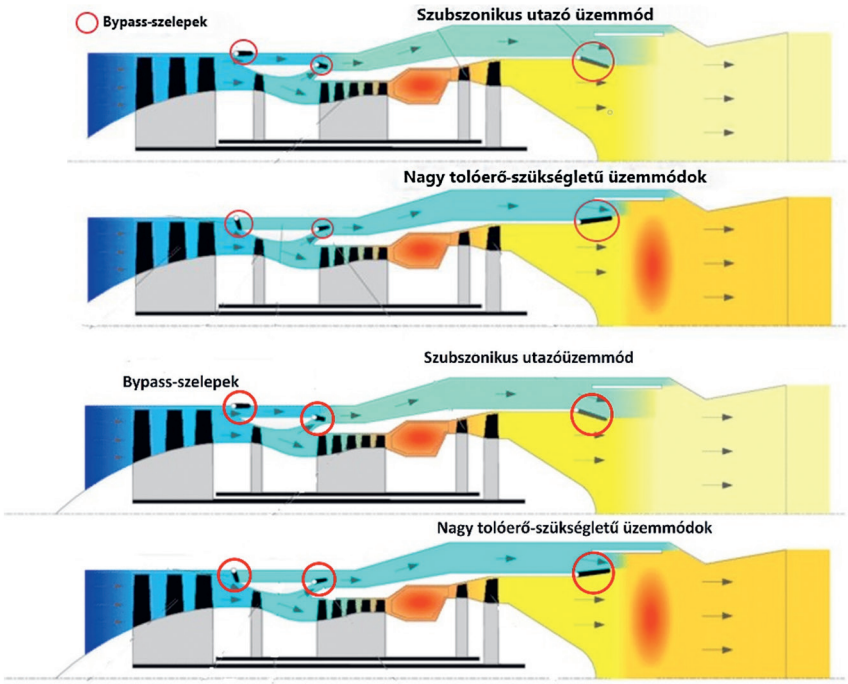
A cél az olyan kialakítás, hogy a tolóerő-csökkenés lehetőleg csak a fajlagos tolóerő ($w - v$) csökkenésén keresztül valósuljon meg a tömegáram ($\dot{m}$) állandósága mellett, ami részben lehetővé teszi, hogy a szívócsatorna mindig közel névleges üzemmódban dolgozzon, részben pedig a tömegáramok modulálásával (a magból a külső áramba terelésével) növelhető a kétáramúsági fok (BPR)[1] és ezzel a propulziós hatásfok. A folyamat a 2. egyenletsoron keresztül jól követhető.

$$F = \dot{m}(w - v)\downarrow; \quad \dot{m} = \dot{m}_{külső}\uparrow + \dot{m}_{mag}\downarrow = const; \quad (w - v)\downarrow; \quad BPR = \frac{\dot{m}_{külső}\uparrow}{\dot{m}_{mag}\downarrow} \tag{2}$$

Az elmúlt 50 évben számos repülőgéphajtómű-gyártó cég, egyetemi és kutatóközpont végzett elméleti vizsgálatokat különböző elrendezésű változó ciklusú hajtóművekkel (VCE)[2]. Ezeknek a kutatásoknak pontosan a fenti feltételeknek a teljesítése volt a célja. A 1. ábrán olyan sematikus hajtóművet láthatunk, amelyben az áramlás modulálása a jelölt *bypass*-szelepekkel történik. Természetesen a helyzet nem olyan egyszerű, ezért sokáig ezeknek a hajtóműveknek

[1] Bypass Ratio.
[2] Variable Cycle Engine.

a számítógépes matematikai modellezésén kívül nem sok minden történt. Ezt törte meg az Egyesült Államok az adaptív ciklusú hajtóművek (ACE)[3] fejlesztésiprojekt-sorozatával. Az új megnevezés lehetséges, hogy csak terminológiai különbség, de jelezheti, hogy ez a hajtómű továbblépést jelent még az eredeti eszméhez (VCE) képest is, hiszen mint látni fogjuk, megjelenik a kettős *bypass,* vagyis ezek a hajtóművek háromáramú hajtóművek.



1. ábra
A változó ciklusú hajtómű sematikus ábrája [3]

5. Az adaptív hajtómű-technológia története

A gyakorlati megvalósítás és a projektek időrendje:

- 2007: az Egyesült Államok légiereje és haditengerészete fogalmazta meg az adaptív hajtóművek koncepcióját az Adaptive Versatile Engine Technology (ADVENT) program keretében, amely a nagyobb Versatile Affordable Advanced Turbine Engines (VAATE) program része lett;
- 2012: megtörtént a Pratt & Whitney és a General Electric kiválasztása az Adaptive Engine Technology Demonstrator (AETD) programba, amelynek során továbbfejlesztették a technológiát, demonstrációs hajtóművekkel végzett tesztekkel;

[3] Adaptive Cycle Engine.

- 2016: életbe lépett az Adaptive Engine Transition Program (AETP) 6. generációs vadászrepülőgépek (New Generation Air Dominance [NGAD] Aircraft) meghajtására. A GE hajtóműve az XA100, a P&W-hajtómű pedig az XA101 jelölést kapta.

Az adaptív hajtóművek legfontosabb tulajdonságai:

- az adaptív hajtómű egy háromáramú hajtómű, ahol a harmadik áram részben a régi elnevezés szerint a kétáramúsági fok növelését, részben a hajtóműben keletkező hő elvezetését biztosítja a törzs elemeinek védelme érdekében *(thermal management);*
- az áramlás modulálásának képességével a magba vagy a középső áramba szabályozni lehet a hajtómű kétáramúsági fokát és optimalizálni a *fan* nyomásviszonyát a tüzelőanyag-fogyasztás, illetve a tolóerő szempontjából;
- a koncepció a tüzelőanyag-hatékonyság növelését célozza, hogy megnöveljék a repülőgép hatótávolságát járőrözés alatt, miközben továbbra is fenntartják a lehetőségét a nagy fajlagos tolóerő létrehozásának.

5.1. General Electric XA100-GE-100

Az XA100-as hajtómű tesztelése 2022 szeptemberében fejeződött be az Arnold Engineering Development Complex nevű intézetben. A 6. generációs repülőgépekben (NGAD) tervezik felhasználni. A GE ugyanakkor hangsúlyozza, hogy az XA100-as hajtómű kompatibilis az F35A és az F35C repülőgéppel a törzs módosítása nélkül, de a tesztelés azt mutatta, hogy a hajtómű potenciálisan módosítható az F-35B repülőgép meghajtására is. Ez azért lényeges, mert a vártnál gyakrabban kell kiépíteni az F135-ös (Pratt & Whitney) hajtóműveket nem tervezett karbantartáshoz, elsősorban a forró tér javításai miatt. A probléma megoldásának egyik alternatívája a Pratt & Whitney által ajánlott Engine Enhancement Package (EEP) program, a másik az F135 hajtóművek cseréje az új fejlesztésű XA100-GE-100 hajtóművekre, amely valószínűleg nem lenne ellenére a GE-nek, és lobbizik is erőteljesen ezért a megoldásért [1].

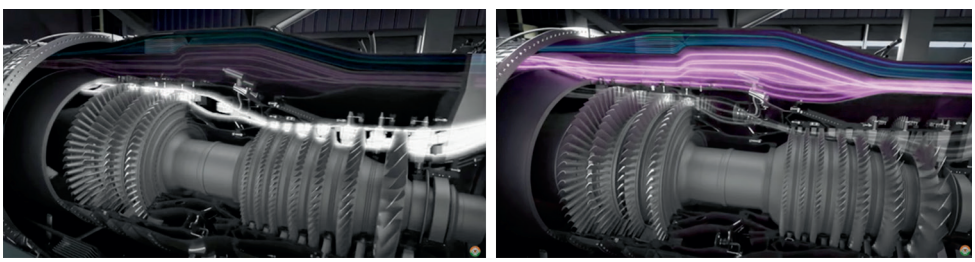
5.2. Pratt & Whitney XA101

2017-ben a Pratt & Whitney sikeresen tesztelt egy F135-maggal (gázgenerátor-egység) rendelkező, adaptív háromáramú *fanegységet,* és XA101 elnevezéssel a „Growth Option 2.0" program keretében ezt az F135 hajtómű továbbfejlesztésének tekintette. 2018 júniusában a Pratt & Whitney megváltoztatta az F135 fejlesztési tervét, és helyette adaptív *fanegységet* kínált „Growth Option 2.0" programban, új magrésszel. 2020-ban az F135 fejlesztési terve „Growth Option 2.0"-ról „Engine Enhancement Packages"-re (EEP) módosult, míg a háromáramú XA101 új hajtómű, amelyet potenciálisan az F-35A-k későbbi új erőforrásának terveznek. Az XA101 földi tesztelése 2021 szeptemberében kezdődött [5].

6. A General Electric XA100-GE-100 fejlesztési eredményei

A GE az általa fejlesztett hajtóművel kapcsolatban több részletet megosztott. Ez alapján az XA100-GE-100 hajtómű 3 fontos innovációt ötvöz a generációs változás érdekében:

- adaptív, képes nagy tolóerőt biztosítani a maximális teljesítmény eléréséhez, valamint képes az üzemmódot optimalizálni a tüzelőanyag-megtakarítás szempontjából, lásd 2. ábra;
- a harmadik áram egyben lehetővé teszi az ezekben a nagy teljesítményű hajtóművekben keletkező nagy mennyiségű hő elvezetését;
- a fejlett alkatrész-technológiák széles körű alkalmazása, beleértve a kerámia mátrix kompozitokat (CMC)[4], a polimer mátrix kompozitokat (PMC)[5] és az additív gyártást [2].



2. ábra
A General Electric XA100-GE-100 hajtóműve teljes tolóerő- (bal) és utazóüzemmódban (jobb) [2]

További eredmények a jelenleg alkalmazott F135 hajtómű teljesítményéhez képest:

- 30%-kal megnövekedett hatótávolság;
- 25%-kal jobb tüzelőanyag-fogyasztás, kisebb szükséges légi utántöltési kapacitás;
- a CO_2-kibocsátás csökkenése, valamint alkalmas alternatív tüzelőanyagok égetésére;
- több mint 10%-os tolóerő-növekmény, 20–40%-kal nagyobb gyorsulás.

A GE szerint a kiemelkedő tolóerő, a tüzelőanyag-hatékonyság, a hőelvezetés megoldása, a nagy szilárdságú, de könnyű konstrukció, illetve főleg ezek egy rendszerben történő egyesítése többet jelent, mint ezeknek a képességeknek a puszta összegzése [1].

7. Összefoglalás

Az adaptív ciklusú hajtóművek (ACE) alkalmasak a nagy tolóerő-szükségletű feladatokra, mint például az utánégető nélküli szuperszonikus cirkálás, az intenzív gyorsítás vagy az emelkedés, és rendelkezniük kell az alacsonyabb fajlagos tüzelőanyag-fogyasztással, például a nagy távolságú felderítés esetén. Járulékos előnynek tekinthető, hogy ezeknek a hajtóműveknek a fojtása lehetséges állandó közegáram mellett, ami a szívócsatorna elfolyásból származó ellenállásának *(spillage drag)* javulását eredményezi, ezzel növelve a „beépített tolóerő" nagyságát. Ehhez

[4] Ceramic Matrix Composites.
[5] Polimer Matrix Composites.

a fejlesztéshez jelenleg a Pratt & Whitney és a General Electric kapott mandátumot. Láthatóan a Pratt & Whitney-fejlesztés kaotikusabb. A cég nehezen találta meg az irányvonalat az új fejlesztéshez, és kezdetben a meglévő megoldások toldozgatásához fogtak. A GE bátrabban nyúlt új megoldásokhoz, és a hajtóműve láthatóan előbbre tart a fejlesztésben, ami jelentős üzleti sikert hozhat a cégnek.

Felhasznált irodalom

[1] GE Aerospace. XA100 Adaptive Cycle Engine. Revolutionary Capabilities To Deter Geopolitical Threats. Online: www.geaerospace.com/propulsion/military/xa100

[2] GE News Staff: Testing on GE's First XA100 Adaptive Cycle Engine Concludes, Proves Out Transformational Capabilities. Online: https://blog.geaerospace.com/tec hnology/testing-on-ges-first-xa100-adaptive-cycle-engine-concludes-proves-out-transformational-capabilities

[3] S. Lu et al., „Research on a Component Characteristic Adaptive Correction Method For Variable Cycle Engines," International Journal of Turbo and Jet Engines, 2021. Online: https://doi.org/10.1515/tjeng-2021-0026

[4] Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala: Jendrassik György. Online: www.sztnh.gov.hu/hu/magyar-feltalalok-es-talalmanyaik/jendrassik-gyorgy

[5] Wikipedia the Free Encyclopedia: Pratt & Whitney XA101. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Pratt_%26_Whitney_XA101

Adaptive Engine Technology in Military Aviation

From the sixties of the last century, both in civil and military aviation, the pure turbojet engines were replaced by the two-stream engines. The low bypass ratio engines appeared first, and then the bypass ratio steadily increased in commercial aircraft engines. Nowadays, low bypass ratio engines are typically the power sources of multi-role combat aircrafts. The design of the engine itself has actually not changed for decades. In comparison, adaptive engine technology can represent a new level and a real leap in quality. In this paper, I present this development process and the expected benefits.

Keywords: *low bypass ratio engine, propulsive efficiency, spillage drag, adaptive engine technology*

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

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL
AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
35. évfolyam (2023) 2. szám 211–218. • DOI: 10.32560/rk.2023.2.23

Tóth József

A repülőtéri folyamatok környezetkárosító hatásainak csökkentésére irányuló fejlesztések várható irányai

A légi közlekedés környezetvédelmi szempontú fejlesztése, a légköri és a zajszennyezés csökkentése az elmúlt évtizedekben a repülőterek vonatkozásában is nagy hangsúlyt kapott. Ennek kapcsán létrejött az Airport Carbon Accreditation (ACA), az egyetlen intézményileg támogatott, globális szén-dioxid-gazdálkodási tanúsítási program, amely a repülőterek számára biztosít tanúsított megfelelést és minősítést környezetbarát működésük igazolására. Ezenkívül láthatóvá teszi azokat a lehetőségeket és továbblépési irányokat, amelyek a „zéró kibocsátás" hosszú távú célkitűzésének megvalósítását biztosíthatja. Fontos feladat az európai körkép készítése, amely egyelőre a fellelhető forrásmunkák elemzésén és feldolgozásán kell hogy alapuljon. A legjobb gyakorlatok megtalálása és a hazai – úgy a kereskedelmi, mint a katonai – repülőterekre való alkalmazhatóságuk vizsgálata további kutatások feladata.

Kulcsszavak: *környezetvédelem, repülőtér-fejlesztés, légszennyezés, kereskedelmi repülés*

1. Bevezetés

A repülőterek létfontosságú nemzeti erőforrások a nemzetgazdaság számára. Kulcsszerepet töltenek be a személy- és áruszállításban, valamint a regionális, nemzeti és nemzetközi kereskedelemben. Ezek azok a helyek, ahol az ország légi közlekedési rendszere összekapcsolódik más közlekedési módokkal, és ahol a légi forgalom irányításával és szabályozásával kapcsolatos nemzetközi felelősség találkozik a legtöbb repülőteret birtokló és üzemeltető állami és helyi önkormányzatok szereplőivel. Kutatásra van szükség a közös üzemeltetési problémák megoldásához, más iparágak megfelelő új technológiáinak adaptálásához, valamint innovációk bevezetéséhez a repülőtéri ágazatban [7].

A Repülőtéri Együttműködési Kutatási Program (ACRP)[1] az egyik fő eszköze annak, hogy a repülőtéri ágazat innovatív, rövid távú megoldásokat dolgozzon ki a vele szemben támasztott igények kielégítésére. Az ACRP alkalmazott kutatásokat végez olyan problémákkal kapcsolatban, amelyekben a repülőtér-üzemeltető szervezetek is osztoznak, és amelyekkel a meglévő kutatási programok nem foglalkoznak megfelelően [2], [3], [4].

[1] Airport Cooperative Research Program.

A környezetvédelemmel foglalkozó jelentések a repülőtéri üvegházhatású gázok csökkentésére irányuló erőfeszítésekre összpontosítanak. Bemutatják az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának csökkentésére irányuló kezdeményezéseket a repülőtereken, és tanulságokat adnak a jövőbeli ÜHG-csökkentési projektek sikeres végrehajtásának támogatásához.

2. Airport Carbon Accreditation rendszere

Az Airport Carbon Accreditationt az Airports Council International (ACI) Europe fejlesztette ki, és indította el Európában 2009-ben. 2014 végétől az Airport Carbon Accreditation világszerte kiterjedt az összes ACI-régióra. Ez az egyetlen önkéntes globális szén-dioxid-kezelési szabvány a repülőterekre vonatkozóan [1], [2], [6].

A repülőtéri szén-dioxid-akkreditáció célja, hogy ösztönözze és lehetővé tegye a repülőtereket a szén-dioxid-gazdálkodás legjobb gyakorlatainak bevetésére és a kibocsátáscsökkentés elérésére. Az akkreditáció lehetőséget biztosít a repülőterek számára, hogy nyilvános, publikus elismerést szerezzenek elért eredményeikért, elősegíti a hatékonyság javítását, ösztönzi a tudásátadást, növeli a repülőtér ismertségét és hitelességét, ösztönzi a szabványosítást, valamint növeli a tudatosságot és a specializációt. A legtöbb dokumentum az ACRP 56. jelentését használja kiindulópontként, amely egy kézikönyv a repülőterek üvegházhatásúgáz-kibocsátásának gyakorlati csökkentésére vonatkozó stratégiák mérlegeléséhez, és leírja a repülőterek által a repülőtereken az ÜHG-kibocsátás mérésére és csökkentésére vonatkozó gyakorlatok, eszközök és stratégiák terén elért eredményeket.

Az üvegházhatást okozó gázok csökkentésére irányuló stratégiákkal foglalkozó minden repülőtér-üzemeltetőnek valószínűleg különböző prioritásai és kibocsátáscsökkentési céljai vannak, amelyek befolyásolják a stratégiák kiválasztásának folyamatát [5]. Nagyon fontos, hogy még a tervezés kezdeti szakaszában világos célokat tűzzenek ki, hogy a tervezést és a megvalósítást rendszeresen össze lehessen mérni ezekkel a célokkal [7].

A repülőterek utasra vonatkoztatva számítják ki kibocsátásukat, és kötelezettséget vállalnak a kibocsátás csökkentésére. Különféle hajtóerők motiválják őket, köztük a következők:

- a hosszú távú működési költségek csökkentése a régebbi, esetleg elavult berendezések cseréjével, amelyek karbantartása költségesebb, és több üzemanyagot fogyasztanak;
- az ügyfelek élményének javítása, a kényelem növelése és a torlódások csökkentése, ezzel együtt a károsanyag-kibocsátás csökkentése érdekében a technológia használatával;
- a pénzügyi ösztönzőkkel, például az energia-visszatérítésekkel kapcsolatos lehetőségek maximalizálása a tisztább égetőtechnológia kezdeti költségeinek csökkentése érdekében;
- a létesítmények klímaváltozással szembeni ellenálló képességének növelése új energiatermelő és -tároló berendezésekbe történő befektetéssel, amelyek képesek fenntartani a repülőtéri működést akkor is, ha a hálózat leállt;
- közpolitikai kötelezettségvállalások teljesítése és koordináció más kormányzati szervekkel ezekben az erőfeszítésekben;

- az iparági vezető szerep bizonyítása más repülőterekkel való versenyzéssel az ÜHG-stratégia fejlesztése határainak feszegetése érdekében;
- válasz az érdekelt felek aggodalmaira és az érdekelt felekkel, köztük a közeli közösségekkel való kapcsolatok fejlesztése a tervezéssel és a megvalósítással kapcsolatos információk megosztásával;
- a fenntarthatósági márkaimázs kiépítése és a repülőtér befolyásának kiterjesztése saját forrásain túlra [7].

Az ACRP 56. jelentésében felsorolt jó gyakorlatok 12 kategóriába sorolhatók.

Az alábbi 13 kategória tartalmazza az eredeti 12 kategóriát (enyhe módosításokkal a szintézishez) és 1 hozzáadott kategóriát az összegzéshez:

- a repülőtér tervezése és üzemeltetése (AF)[2];
- üzleti tervezés (BP)[3];
- építés (CN)[4];
- szén-dioxid-megkötés (CS)[5];
- szén-dioxid-offset (CO)[6];
- energiagazdálkodás (EM)[7];
- földi kiszolgálóberendezések (GS)[8];
- földi közlekedés (GT)[9];
- anyagok és beágyazott energia (ME)[10];
- üzemeltetés és karbantartás (OM)[11];
- teljesítménymérés (PM)[12];
- megújuló villamos energia és üzemanyagok (RE)[13];
- hűtőközegek (RF)[14] [7].

Az Airport Carbon Accreditation valójában a CO_2-kibocsátásra összpontosít, mivel ez teszi ki a repülőtéri környezetszennyezés nagy részét. A repülőterek vállalása – önkéntes alapon, a legjobb gyakorlatok példájaként – más üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátását is tartalmazhatja. A független, harmadik fél által jóváhagyott és elfogadott auditor által végzett hitelesítés a program alapvető eleme.

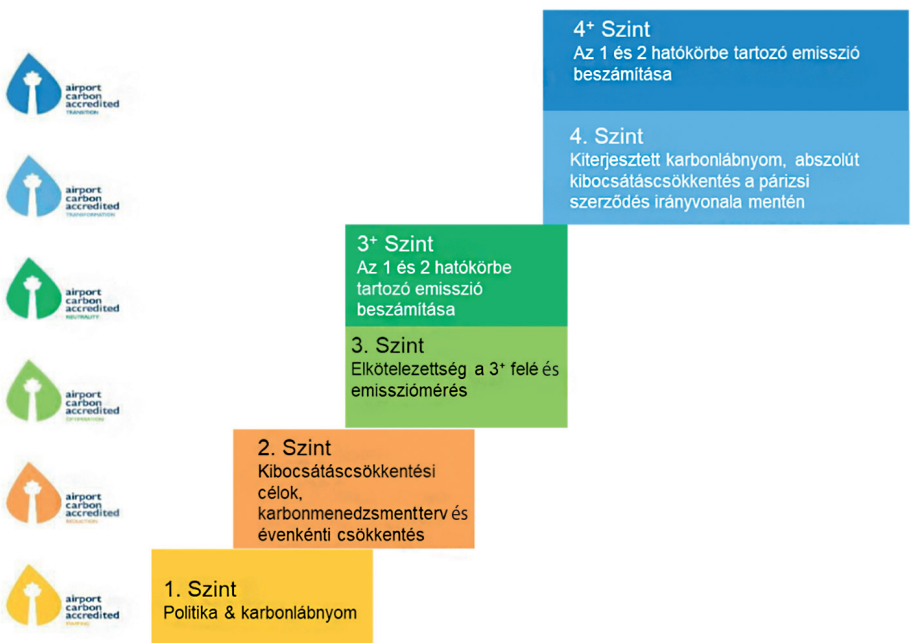
2 Airfield Design and Operations.
3 Business Planning.
4 Construction.
5 Carbon Sequestration.
6 Carbon Offset.
7 Energy Management.
8 Ground Service Equipment.
9 Ground Transportation.
10 Materials and Embedded Energy.
11 Operations and Maintenance.
12 Performance Measurement.
13 Renewable Energy (on-site).
14 Refrigerants.

A repülőterek az első akkreditáció során kiindulásként az alábbi 4, fokozatosan szigorúbb akkreditációs szint valamelyikén állhatnak, illetve azokra nyerhetnek besorolást:

1. feltérképezés;
2. csökkentés;
3. optimalizálás;
4. transzformáció [1].

Ezen túlmenően a 3. és a 4. szintű repülőterek dönthetnek úgy, hogy kompenzálják maradék kibocsátásaikat, így elérhetik a 3+ (semlegesség), illetve a 4+ (átmenet) szintet. Ezt szemlélteti az 1. ábra. Az ábra bal oldalán lévő oszlopban azok a meghatározott színnel megjelenített ábrák, logók, jelzések láthatóak, amelyeket a repülőtér jól látható helyein elhelyezve transzparenssé tehető a repülőtér (adott szinten) tanúsított volta.

Az akkreditált repülőterek tanúsítványt kapnak, amely jelzi az elért szintet [1].



1. ábra
A repülőtéri szén-dioxid-akkreditáció szintjei és fő követelményei (saját szerkesztés [1] alapján)

Az egyes akkreditációs szintek főbb követelményei és azok tartalma a következő:

- 1 szint: feltérképezés
  - politikai elkötelezettség a kibocsátáscsökkentés mellett;
  - a repülőtér 1. és 2. hatálya alá tartozó kibocsátások karbonlábnyomának kialakítása.

- 2. szint: csökkentés
  - minden 1. szintű akkreditációs követelmény teljesítése;
  - a szén-dioxid-kibocsátás-csökkentési cél megfogalmazása;
  - a szén-dioxid-kezelési terv kidolgozása a cél elérése érdekében;
  - az 1. és 2. hatályú kibocsátáscsökkentés bemutatása a 3 éves mozgó átlaghoz képest.
- 3. szint: optimalizálás
  - a 2. szintű akkreditációs követelmények teljesítése;
  - további szénlábnyom a specifikus 3. hatókörbe tartozó kibocsátások figyelembevételével;
  - az érintettek bevonására vonatkozó terv kidolgozása;
  - repülőtéri szén-dioxid-akkreditációs jelentkezési kézikönyv (13. kiadás).
- 3+ szint: semlegesség
  - az összes 3. szintű akkreditációs követelmény teljesítése;
  - a fennmaradó kibocsátások ellentételezése a repülőtér ellenőrzése alatt.
- 4. szint: átalakítás
  - szakpolitikai elkötelezettség az abszolút kibocsátáscsökkentés mellett;
  - a repülőtér 1., 2. és 3. hatálya alá tartozó kibocsátások karbonlábnyomának kialakítása, beleértve a további kötelező forrásokat is;
  - hosszú távú abszolút csökkentési cél meghatározása az 1. és a 2. hatókörre vagy az 1., 2. hatókörre és a kiválasztott 3. körbe tartozó szén-dioxid-kibocsátásra, amely összhangban van az IPCC 1,5 °C-os vagy 2 °C-os ütemtervével;
  - szén-dioxid-kezelési terv kidolgozása a csökkentési pálya és a célok eléréséhez szükséges intézkedések meghatározására;
  - az érdekelt felek partnerségi tervének kidolgozása, beleértve a kibocsátáscsökkentési célokat és/vagy a repülőtér 3. hatálya alá tartozó kibocsátások hatékony csökkentését eredményező intézkedéseket.
- 4+ szint: átmenet
  - az összes 4. szintű akkreditációs követelmény teljesítése;
  - a fennmaradó, a repülőtér ellenőrzése alatt álló kibocsátások ellentételezése [1].

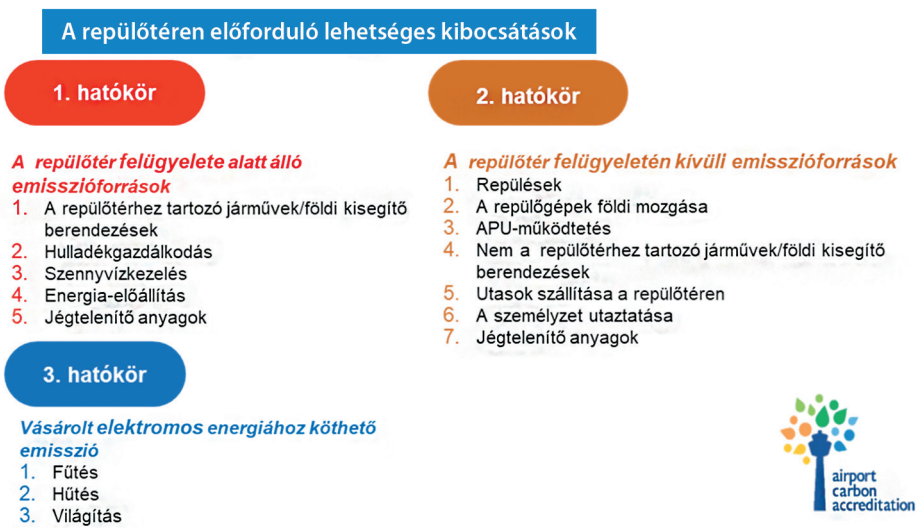
A repülőterek folyamatait szükségszerű célszerűen választott kritériumrendszer alapján elkülöníteni és csoportosítani, ezek az úgynevezett működési határok. Az ÜHG-protokoll szerint a működési határ határozza meg a közvetlen és közvetett kibocsátások körét a repülőteret üzemeltető vállalat meghatározott szervezeti határai alapján. A működési határ (1. hatókör, 2. hatókör, 3. hatókör) a szervezeti határ megállapítása után dől el. A kiválasztott működési határt ezután egységesen alkalmazzák a közvetlen és közvetett kibocsátások azonosítására és kategorizálására minden működési szinten. Ennek megfelelően a stratégiai tervezés folyamatában a kibocsátási forrásokat (tevékenységeket/létesítményeket) az 1., 2. vagy 3. hatókörbe *(scope)* célszerű besorolni [1].

1. hatókör: Közvetlen ÜHG-kibocsátás, amely a repülőtér tulajdonában lévő és/vagy ellenőrzése alatt álló forrásokból származik, például saját vagy ellenőrzött kazánokban, kemencékben, járművekben stb.

2. hatókör: A repülőtér által felhasznált vásárolt villamos energia, gőz, hő vagy hűtés előállításából származó közvetett ÜHG-kibocsátás. A 2. hatókörbe tartozó kibocsátások értelemszerűen fizikailag abban a létesítményben jönnek létre és azokhoz köthetők, ahol a vásárolt villamos energiát termelik.

3. hatókör: Minden egyéb közvetett kibocsátás, amely a repülőtér tevékenységének következménye, de nem a társaság tulajdonában és/vagy ellenőrzése alatt álló forrásból származik (például a légi járművek mozgása, harmadik fél által üzemeltetett járművek és berendezések, telephelyen kívüli hulladékkezelés stb.). Az ilyen források elhelyezkedhetnek a repülőtér területén vagy azon kívül (földrajzi határ).

Ennek megfelelően a repülőterek azonosítják a releváns kibocsátási forrásokat, és meghatározzák, hogy hol tudják ellenőrizni, illetve mérni, detektálni a kibocsátásokat, és melyek azok a területek, ahol irányítani vagy befolyásolni tudják a többi érdekelt tevékenységéből származó emissziókat (3. hatókör) [1].



2. ábra
Hatókörök és kibocsátásforrások egy fiktív repülőtéren (saját szerkesztés [1] alapján)

Bár a határok repülőterenként eltérőek, a 2. ábra csupán egy példát mutat arra, hogy egy tipikus repülőtér hogyan határozhatja meg karbonlábnyomának határát. Ez csak tájékoztató jellegű példa, és minden repülőtérnek el kell végeznie ezt a feladatot tevékenységei és létesítményei sajátosságai alapján.

3. Összegzés

A fent vázolt rendszer egyértelműen jelentős ösztönző erőt és motivációt jelent a repülőterek üzemeltetői számára, hogy megtegyék azokat a szükségszerű lépéseket, amelyek a légi közlekedés hosszú távú céljainak elérését biztosíthatja. Ez a jövőkép olyan szemléletre épül,

amely tartalmazza a fenntarthatóság, a körkörös gazdaság és a karbonsemlegesség elméleti és gyakorlati elveit.

A légi közlekedés egyre szerteágazóbb elemei – fejlett légi mobilitás, regionális és rövid-közepes repülések, esetleg szuborbitális közlekedés – annak kontinentális léptékű, fenntartható, társadalmilag elfogadott és a fogyasztók szempontjából teljes mértékben integrált, oszthatatlan összetevői. A jövőre vonatkozó vízió szerint a légi közlekedés egy intermodális mobilitási rendszer szerves eleme, amely magában foglalja a nagy sebességű és hagyományos vasutat, a buszokat, az autonóm gépjárműveket és más feltörekvő mobilitási koncepciókat.

Felhasznált irodalom

[1] Airport Carbon Accreditation Application Manual (Issue 13) March 2023, Updated: (Issue 14) December 2023. Online: https://www.airportcarbonaccreditation.org/wp-content/uploads/2023/12/ACA-AM-14-FINAL-UPDATE1.pdf

[2] Airport Carbon Accreditation Offsetting Manual (Issue 3), 2022. Online: www.airportcarbonaccreditation.org/technical-documents

[3] ACRP Airport Greenhouse Gas Reduction Efforts, 2019. ISBN 978-0-309-48079-6, Online: https://nap.nationalacademies.org/read/25609

[4] Developing an Airport Net Zero Carbon Roadmap, Summary of Existing Roadmaps June 2022. Online: https://aci-europe.org/downloads/content/ACI%20EUROPE%20Summary%20Repository%20-%20Airport%20Net%20Zero%20Roadmaps.pdf

[5] Fly the Green Deal, Europe's Vision for Sustainable Aviation, Report of the Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe (ACARE). Online: https://www.acare4europe.org/wp-content/uploads/2022/06/20220815_Fly-the-green-deal_LR-1.pdf

[6] Guidebook for Developing a Zero- or Low-Emissions Roadmap at Airports, 2021. Online: https://ia800306.us.archive.org/18/items/9780309674195/9780309674195_text.pdf

[7] „Handbook for Considering Practical Greenhouse Gas Emission Reduction Strategies for Airports," Washington, DC, Amerikai Egyesült Államok: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2011. Online: https://crp.trb.org/acrpwebresource2/wp-content/themes/acrp-child/documents/047/original/ACRP_56_Handbook_for_Considering_Practical_Greenhouse_Gas_Emission_Reduction_Strategies_for_Airports.pdf

Expected Directions of Developments Aimed at Reducing the Environmental Impact of Airport Processes

The environmental development of air transport and the reduction of atmospheric and noise pollution have also had a significant impact on airports in recent decades. In connection with this, Airport Carbon Accreditation (ACA) was created, the only institutionally supported, global carbon dioxide management certification program that provides airports with certified compliance and certification to prove their environmentally friendly operation. In addition, it makes visible the possibilities and ways forward that can ensure the realization of the long-term goal of "zero emissions". An important task is the examination of a European overview, which for the time

being must be based on the analysis and processing of available source works. Finding the best practices and examining their applicability to domestic – both commercial and military – airports will be the result of further research.

Keywords: *environmental protection, airport development, air pollution, commercial aviation*

Dr. Tóth József	József Tóth, PhD
egyetemi docens	Assistant Professor
Nemzeti Közszolgálati Egyetem	Ludovika University of Public Service
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar	Faculty of Military Science and Officer Training
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék	Department of Aircraft and Engine
toth.jozsef@uni-nke.hu	toth.jozsef@uni-nke.hu
https://orcid.org/0000-0001-8647-3404	https://orcid.org/0000-0001-8647-3404

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg."

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal / AZ NKFI ALAPBÓL MEGVALÓSULÓ PROGRAM

Tartalom

Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2023 – Konferencia 5

Hajnal Kornél, Hegyi Fanni Rozália, Békési Bertold: *Multikopteres drón tervezése, fejlesztése és felhasználása* 11

Antal Tamás, Nagy János: *A csomagolás és a tárolási körülmények hatása a szárított homoktövisgyümölcs érzékszervi jellemzőire* 23

Kiss Zsolt Péter, Kassai Zsolt, Szente Márk: *A gumiabroncsok fáradásos bordatörés-vizsgálati lehetőségeinek meghatározása laboratóriumi körülmények között* 31

Palánkai Emese, Sarvajcz Kornél: *Virtuális gyártás alkalmazása ipari gyártóegységek optimalizálására* 43

Lakatos Ernő Levente, Szigeti Ferenc, Százvai Attila: *A kissorozat- és az egyedi gyártás összehangolása adott üzemben* 51

Fazekas Csaba, Szigeti Ferenc: *A hegesztési sebesség varrattulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata S355 típusú acél hegesztésénél* 59

Csurgai József, Szilvássy László, Jámbor Krisztián: *Légisugár-fejlesztésünk rögös útja* 67

Szilvási Marcell, Orosz Máté: *Bányafal mérése és modellezése robbantás előtt és után* 79

Buday Tamás, Budayné Bódi Erika: *A bivalens hőszivattyús rendszerek használatának hatása a szén-dioxid-kibocsátásra* 87

Buday Tamás, Kyrillos Samir Ghattas: *A mélyfúrás geofizikai adatai digitalizálása hidrodinamikai modellezéshez* 95

Szilvási Marcell: *Terepfelmérés és modellezés egyvonalas létesítmény megtervezéséhez* 101

Nagyné Kondor Rita: *Mérnöktanárképzés, lemorzsolódás* 109

Nagyné Kondor Rita: *A téri intelligencia szerepe a felsőoktatásban* 117

Palik Mátyás, Szabó Balázs: *A hagyományos légi járművek és a nagy méretű drónok integrált működése ellenőrzött repülőterekről* 125

Simon Sándor, Vas Tímea, Dudás Zoltán: *A repülőtéri forgalomban alkalmazható drónok típusspecifikációs kérdései* 133

Békési Bertold, Gajdács László, Knapiczius Attila: *A pilóta nélküli légi járművek meghajtási rendszerei* 145

Gajdács László: *A drónok vizuális láthatóságának jelentősége* 157

Major Gábor, Békési Bertold: *Földön, vízen, levegőben – pilóta nélkül, avagy a robotok segítenek vagy ártanak?* 169

Nagy Imre: *Meddig növelhető alacsony Föld körüli pályán a mesterséges holdak száma?* 177

Kavas László, Varga Béla, Tóth József: *Kapcsolat a különböző gázturbinás hajtóművek és a SAF-tüzelőanyagok használatához kapcsolódó károsanyag-kibocsátás között* 185

Óvári Gyula, Varga Béla, Csató Péter: *A közelmúlt néhány fontos tanulsága a szállító légi járművek integrált repülőtéren történő kiszolgálásában és repülésre történő felkészítésében* 195

Varga Béla: *Az adaptív hajtómű-technológia megjelenése a katonai repülés területén* 203

Tóth József: *A repülőtéri folyamatok környezetkárosító hatásainak csökkentésére irányuló fejlesztések várható irányai* 211