

Major Gábor

Környezeti értékeink megóvása vagy pusztítása, avagy a pilóta nélküli légi járművek segítenek vagy ártanak az ökológiai lábnyom csökkentése érdekében folytatott harcban?

*„A Földet nem apáinktól örököltük,
hanem unokáinktól kaptuk kölcsön.”¹*

A pilóta nélküli légi járművek (drónok) széles körű felhasználhatósága napjainkban jelentős szerepet tölt be mind a katonai, mind a civil szférában. Az alternatív meghajtással működő autonóm légi járművek hozzájárulhatnak a környezetszennyezés és a klímaváltozás elleni küzdelemhez, mivel ezek csökkenthetik a fosszilis energiahordozók elégetésével a légkörbe jutó szén-dioxid mennyiségét. A környezeti robotika a modern társadalmi berendezkedés által előidézett ökológiai kihívásokra kínál megoldásokat. A robotika ezen területe három fő kategóriára osztható: tengeri, szárazföldi és légköri robotikára, amelyek a környezetvédelmi problémák megoldásának dimenziói is egyben. A drónok fejlettségi szintje és széles körű alkalmazása új lehetőségeket teremtett a környezetvédelemben, a klímastratégiában, a mezőgazdaságban, az iparban, a biztonságtechnikában és a vadgazdaságban egyaránt.

BEVEZETÉS

Az 1900-as évek amerikai környezetvédelmi mozgalma egyik élharcosának, David Browernek a szavai rendkívül fontos üzenetet hordoznak magukban, amely a bolygónk élhetőségét és annak hosszú távú megóvását helyezi előtérbe.

¹ David Brower (1912. július 1. – 2000. november 5.) az amerikai környezetvédelmi mozgalom egyik kulcsszereplője volt.

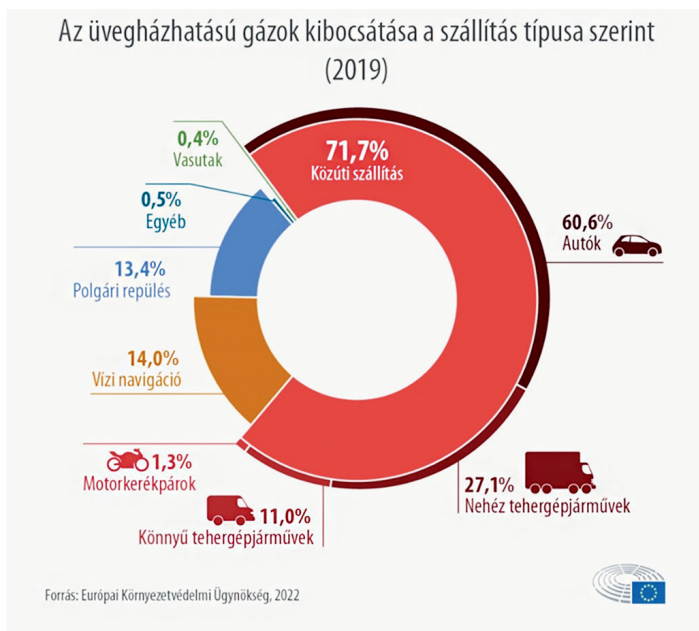
Ennek megvalósítása érdekében tudatosan kell törekednünk a fenntarthatóságra, amely nem csupán divatos kifejezés, hanem élet- és gondolkodásmód, amely nélkülözhetetlen a jövőnk szempontjából. Tudomásul kell vennünk, hogy a természetben, a természettel összhangban, szimbiózisban kell élnünk, még akkor is, ha Jakab levelében olvashatjuk, hogy: „Mert minden természet, vadállatoké, madaraké, csúszómászóké és vízieké megszelídíthető és meg is szelídítettett az emberi természet által.”² Ennek az emberi természetnek kell, szükséges és fontos a környezeti értékeinket megóvni, fenntartható módon élni és élni hagyni ezt az ökológiai csodát, amelybe az ember megteremtett, és amelyben gondoskodó módon kell élnie. Ehhez a gondoskodó magatartáshoz elengedhetetlenül fontos, hogy olyan módon éljünk és cselekedjünk, amely következtében biztosítható a hosszú távú fenntarthatóság.

Ez magában foglalja a természeti erőforrások felelős használatát, a hulladék minimalizálását, valamint az energiahatékonyság növelését. Például ha kevesebb energiát használunk, és inkább megújuló energiaforrásokra támaszkodunk, csökkenthetjük a szén-dioxid-kibocsátást, ami hozzájárul a globális felmelegedés lassításához. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség 2022. évben közzétett jelentéséből kiderül, hogy a szén-dioxid-kibocsátás negyedéért (az 1990–2019 közötti időszakot vizsgálva) a közlekedés volt a felelős, amely jól látható, jól értelmezhető az 1. ábrán. Az Európai Unió elkötelezett az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében, és azért, hogy az európai zöldmegállapodás ütemtervének megfelelően 2050-re elérje a karbonsemlegességet, 90%-kal csökkenteni kell a közlekedésből származó üvegházhatású gázok kibocsátását az 1990-es szinthez képest. A közlekedés az egyetlen ágazat, ahol az üvegházhatású gázok kibocsátása nőtt az elmúlt három évtizedben, még hozzá 33,5%-kal 1990 és 2019 között.³ Ennek csökkentése érdekében az Európai

² Károli Gáspár revideált fordítása [é. n.]: Jakab Apostolnak közönséges levele 3:7.

³ Tények és adatok az autók szén-dioxid-kibocsátásáról (infografika) 2019.

Parlament és az Európa Tanács megállapodott, hogy a használt étolaj, a szintetikus üzemanyag vagy akár a hidrogén fokozatosan a repülőgép-üzemanyag normája kell hogy legyen, és szeretnék, ha a beszállítók 2025-től elkezdenének fenntartható üzemanyagot szállítani, és az 2050-re elérné az EU repülőterein az összes repülőgép-üzemanyag 70%-át.⁴



1. ábra: Szén-dioxid-kibocsátás az Európai Unióban közlekedési szektorok szerint
Forrás: 20220602PHT32031_original.jpg [é. n.]

⁴ Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése: az EU céljai és politikái 2018.



2. ábra: A fenntartható jövő ökológiai lábnyoma

Forrás: a szerző szerkesztése

A fenntarthatóság társadalmi aspektusai is fontosak. Ez azt jelenti, hogy olyan társadalmat építünk, amely igazságos és egyenlő esélyeket biztosít mindenki számára. Ez magában foglalja a szegénység csökkentését, az oktatás és az egészségügy javítását, valamint a munkahelyek teremtését. Ha mindenki hozzáférhet ezekhez az alapvető szolgáltatásokhoz, akkor stabilabb és boldogabb társadalmat hozhatunk létre. Továbbá a gazdasági fenntarthatóság is elengedhetetlen. Ez azt jelenti, hogy olyan gazdasági rendszert alakítunk ki, amely hosszú távon is működőképes. Ez magában foglalja a felelős pénzügyi gyakorlatokat, a helyi

gazdaságok támogatását, valamint az innováció és a technológiai fejlődés ösztönzését. Ha a gazdaságunk stabil és fenntartható, akkor jobban felkészülhetünk a jövő kihívásaira. Végül, a fenntarthatóságra való törekvés egyéni szinten is fontos. Mindenkinek megvan a maga szerepe ebben a folyamatban. Például ha kevesebb műanyagot használunk, szelektíven gyűjtjük a hulladékot, vagy éppen kevesebb húst fogyasztunk, máris hozzájárulhatunk a fenntarthatósághoz. Az egyéni cselekedetek összeadódnak, és globális szinten is jelentős hatást gyakorolhatnak.

Összefoglalva: a fenntarthatóságra való törekvés elengedhetetlen ahhoz, hogy bolygónk élhető maradjon. Ez összetett és sokrétű folyamat (ahogyan a 2. ábra szemlélteti), amely magában foglalja a környezeti, társadalmi és gazdasági szempontokat is, amely összetevőkről, azok egyedi megvilágításba helyezéséről és bizonyos fokig az értelmezéséről szólnak a következő fejezetek. Ha mindannyian tudatosan törekszünk a fenntarthatóságra, akkor jobb és élhetőbb jövőt teremthetünk magunknak és a következő generációknak.

A FENNTARTHATÓ JÖVŐ ÖKOLÓGIAI LÁBNYOMA

Tagadhatatlan, hogy az ősember halászó-vadászó-gyűjtögető berendezkedése abban a fejlettségi korban lényegesen kisebb környezeti pusztítást okozott, jóval kisebb ökológiai lábnyomot hagyott a Földön, mint napjaink környezeti kizsákmányoló felfogása. Ám mindez nem azt jelenti, hogy minden technikai, technológiai vívmányt el kell felejtetni, és az akkori időszak fejlettségi szintjén kell élni, csupán arra szeretnék utalni, hogy ezeket az eszközöket, berendezéseket gondolkodva, felelősen és fenntartható módon szükséges használni, fejleszteni és az emberiség szolgálataira hasznosítani a teremtett környezetünkkel szimbiózisban. Nem szabad elfeledni, hogy a környezettel fennálló kölcsönhatást saját magunk, az emberiség jövője miatt szükséges óvatosan és felelősen óvni, egyensúlyban tartani, mivel nekünk van szükségünk a Földre, nem pedig a Földnek ránk, emberekre.



3. ábra: Az ökológiai lábnyom meghatározásának összetevői
Forrás: a szerző szerkesztése

A bolygónkon emberi, technikai beavatkozás nélkül alakult ki az élet a maga sokszínűségével és egymásrautaltságával, amelyben rohanó életünk termékei, az ipari forradalmak technikai vívmányai és számos emberi tevékenység hagy egyre nagyobb és egyre súlyosabb lábnyomot, amelyek jelentős mértékben terhelik a környezetet. Ezt a terhelést az ökológiai lábnyom mértékével tudjuk jellemezni, amelybe beletartozik a környezeti erőforrások felhasználása, valamint a mezőgazdasági, ipari és hadi cselekmények során keletkező hulladékok is. Az ökológiai lábnyom olyan mutató, amely adott egyén, csoport, vállalat vagy ország környezeti hatásait méri. Ez azt mutatja, hogy mennyire használjuk vagy esetleg túlhasználjuk a Föld erőforrásait. Méri továbbá a biológiailag produktív területek mennyiségét, amelyek szükségesek az egyén vagy a társadalom anyag- és energiafogyasztásának fedezéséhez, valamint a termelt hulladék

lebontásához. Ez a fogalom érzékelteti, mennyi erőforrásra, termőföldre, vízre, levegőre van szükség az életszínvonal fenntartásához, beleértve az ipari termékek előállítását.

A fejlett országokban a nagyobb technológiai fejlettség, városiasodás és jóléti életmód miatt az ökológiai lábnyom általában nagyobb.⁵ Az ökológiai lábnyom meghatározásának szempontjából a 3. ábrán bemutatottak alapján hat fő összetevőt vehetünk figyelembe. Ezek az alkotóelemek: a legelőterület, a termőföld, az erdőterület, a halászhelyek, a beépített terület és a CO₂-kibocsátás.⁶

Ezek az összetevők számba veszik, hogy mennyi biológiailag produktív területet használunk fel a társadalom vagy adott személy fogyasztásának fedezéséhez, valamint hulladéktermelésének lebontásához. A CO₂-kibocsátás és a beépített terület a városi fejlődéssel, az ipari tevékenységgel, valamint a közlekedési és energetikai infrastruktúrával van összefüggésben, míg a termőföld, a legelőterület, a halászhelyek és az erdőterület a táplálkozással és más alapvető igények kielégítésével kapcsolatos. Ezáltal az ökológiai lábnyom meghatározása figyelembe veszi a természeti erőforrások fogyasztását és az emberi tevékenységek környezetre gyakorolt hatásait. Ezeket a hatásokat számos módon lehet csökkenteni. Egyes lehetséges megoldások között szerepel az energiahatékonyság javítása az ipari folyamatokban és a mindennapi életben, az alternatív energiaforrások (mint például nap-, szél- és geotermikus energia) előtérbe helyezése, a fenntartható városi tervezés és közlekedési megoldások alkalmazása, valamint a hulladékcsökkentés és -újrahasznosítás támogatása. Ezenkívül az ökológiai lábnyom csökkentése érdekében fontos szerepet játszik az egészséges életmód választása (azáltal, hogy csökken a húsfogyasztás, minimalizálódik a felesleges fogyasztás) és a tudatos választások elősegítése (például a természetes anyagok használata és a tartós termékek megvásárlása). A fenntartható mezőgazdaság és erdőgazdálkodás priorizálása, valamint a természeti területek megóvása is fontos szerepet játszik az ökológiai lábnyom csökkentésében. Mindezekon túl a közösségi, egyéni és kormányzati szintű erőfeszítések összehangolására is szükség van a környezetvédelem és a fenntarthatóság érdekében. Ennek része

⁵ Ecological Footprint [é. n.].

⁶ KHAN–WANG 2019.

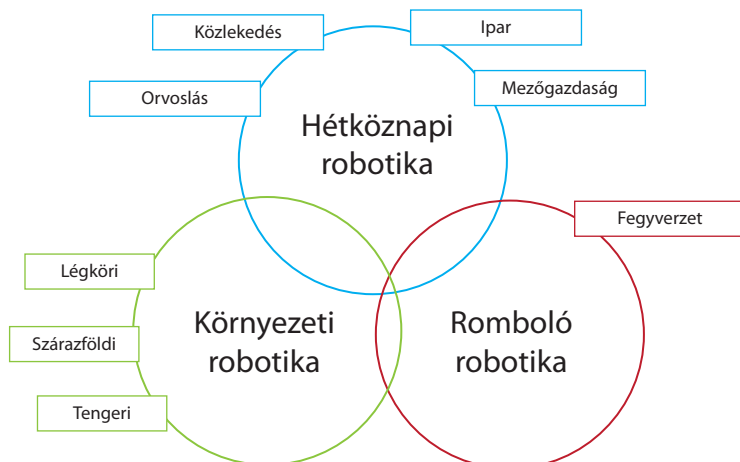
lehet az oktatás és a tudatformálás is, hogy minél többen legyenek tisztában a fenntartható életmód fontosságával. A multilaterális együttműködések, jogszabályi intézkedések és támogatási rendszerek további eszközök lehetnek környezetünk védelmében.

A környezetvédelem és a fenntarthatóság két összetett fogalom, amelyek alapvetően összekapcsolódnak és egymást erősítik. A környezetvédelem közvetlenül a természeti környezet védelmére, megőrzésére és helyreállítására összpontosít, mint például a víz- és levegőminőség, az élőhelyek megóvása vagy az állatfajok védelme, míg a fenntarthatóság olyan szélesebb célkitűzés, amely arra törekszik, hogy az emberi társadalom tevékenységei a jelenben ne veszélyeztessék a jövő generációk lehetőségeit és életminőségét a természetes erőforrások felhasználására és a tiszta környezet élvezetére. Mindkét kérdés megfontolása fontos és valójában szoros kapcsolatban állnak egymással a globális jólét és a környezeti stabilitás szempontjából, ugyanis, hogy hosszú távon megőrizzük a bolygó erőforrásait és környezetét, mind a környezetvédelemre, mind a fenntarthatóságra fókuszálnunk kell. Az egyik nem létezhet a másik nélkül a hosszú távú globális jólét és bolygónk egészségének megőrzése érdekében.

A DRÓNOK ÉS AZ ÖKOLÓGIAI LÁBNYOM

Az elmúlt évtizedek technikai és technológiai fejlődésének köszönhetően a pilóta nélküli rendszerek, legyenek azok földön, vízen vagy akár a levegőben működő és feladatukat teljesítő eszközök, hatalmas fejlődésen mentek/ mennek keresztül. A különböző típusú robotok különféle osztályozása segít leírni ezeknek a heterogén eszközöknek a világát, és közelebb vinni hozzá a felhasználókat és az érdeklődőket.⁷ Ahogyan a 4. ábrán is szemléltetem, számtalan békés és hasznos feladat végrehajtására használhatók ezek az eszközök, természetesen nem elhallgatva fegyverként történő alkalmazásukat sem.

⁷ BÉKÉSI–MAJOR 2022.



4. ábra: A robotika területei
 Forrás: MAJOR–BÉKÉSI 2023

A hétköznapi robotika területe az, amivel az átlagos felhasználó találkozhat mindennapi élete, munkája és akár hobbjai, szórakozása során. Ezen a területen a technika és a technológia fejlődésével hatalmas növekedés tapasztalható, amely az ipar 4.0, de még inkább az ipar 5.0 hatására megállíthatatlan és előre megjósolhatatlan ívű pályát ír le. A 4. ábrán csupán néhány nagyobb területtel szemléltetem, hogy miként szövik be, hatják át életünket robotizált eszközeink. A másik nagyobb területet, ahol a pilóta nélküli eszközöket fegyverként használják, a romboló robotika területének nevezhetjük. Az 1800-as évek kezdeti megvalósításai óta nagymértékű változások következtek be a pilóta nélküli légi járművek (*unmanned aerial vehicle*, UAV) (drón), illetve ezek rendszereinek⁸ napjainkig nyúló történelmében. A világháborúkban és az azokat követő időszakban különböző harcérintkezésekben bevetett drónok bebizonyították,

⁸ Pilóta nélküli légijármű-rendszerek (*Unmanned Aircraft Systems*, UAS). International Civil Aviation Organization 2011.

hogy a jövő háborúiban, katonai és nemzetbiztonsági tevékenységeiben kulcsfontosságú szerepet kapnak, mivel az emberi kezelőszemélyzet nélküli, távolról irányított vagy autonóm módon működő halálos vagy nem halálos hasznos terhet hordozó légi járművek szintén drónoknak minősülnek.⁹ 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.

A 4. 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 szembenéznüik. 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. A továbbiakban a környezeti robotika három különálló kategóriáját mutatom be: a tengeri robotikát, a szárazföldi robotikát és a légköri robotikát.

A *tengeri* robotika szerepet játszhat az óceánok tisztán tartásában (mint például a Major-publikációban¹⁰ 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

⁹ GUPTA–GHONGE–JAWANDHIYA 2013.

¹⁰ MAJOR 2022.

és a csapadék „felfogásával”. Az emberek felelőssége, hogy az erdők egészségesek és virágzóak legyenek. A robotban az a leglenyűgözőbb, hogy képes csúszós vagy veszélyes terepen is biztonságosan mozogni.

A publikáció címében szereplő *légi* eszközök kétségkívül a repülés egyik legdinamikusabban fejlődő területét képviselik, és potenciálisan az új repülési technológiák, eljárások, valamint az általuk megoldható feladatrendszerek és megoldási eljárások hírnökei. Csak az utóbbi néhány évtizedben kerültek elő ezek a légi robotok az árnyékok közül, hogy a felhasználás palettáján minden lehetséges hasznosítási szegmensben (vagy néha már az elképzelhetetlen kategóriában is) helyet kérjenek maguknak (akár az 5. ábra szerinti módon), ám valójában a hadviselés területén már évtizedek óta sikerrel használják azokat.



5. ábra: *Drón a természet védelmében vagy pusztításában?*

Forrás: a szerző szerkesztése

Az eddig leírtak alapján megállapítható, hogy a pilóta nélküli légi járművek fejlődéstörténetét a hasznosítás szemszögéből megfigyelve leszögezhető, hogy eddigi életszakaszuk három részre osztható. Az első, amely során fegyverként alkalmazva különféle pusztító eszközöket szereltek azokra, helyeztek el bennük, és azok segítségével kívánták rombolni, pusztítani a szemben álló fél erőit és eszközeit.¹¹ A következő felhasználási mód, ahol célrepülőgépként vetették be a drónokat, a légvédelmi erők békeidős kiképzését biztosította, életszerű körülményeket nyújtva számukra. A harmadik terület pedig, amikor különféle szenzorokat elhelyezve alkalmassá tették az eszközöket a levegőből történő információszerzésre és továbbításra, elősegítve ezzel a különböző vezetési szinteken, különböző felhasználási területeken a megalapozott döntések meghozatalát.¹² Az evolúció során a robotizált berendezések az egyén számára egyre több lehetőséget, kényelmi szolgáltatást és információs látókörbővülést fognak jelenteni, ami autonóm feladat-végrehajtást eredményez azáltal, hogy egy operátor egyidejűleg több légi eszköz manővereit koordinálja, mivel „felnőtté vált, önálló” eszközünk „nem igényli” a folyamatos felügyeletet.¹³

A megjelenő „problémát” megértve egymástól függetlenül több nemzetközi légi közlekedési, repülésbiztonsági szervezet, valamint nemzeti hatóság kezdte kutatni – az élet szinte minden területén egyre nagyobb szerephez jutó – pilóta nélküli légijármű-rendszerek szabályozási kérdéseit. Mint repülőeszköz első-sorban a légi közlekedéssel foglalkozó hatóságoknak okoz fejtörést a drónok légtérbe történő integrálása. A jogi „értelmezés” és a használható kategóriákba sorolás mellett a drónok technikai fejlődésének íve, iránya és az eszközök képessége, kinézete, felszereltsége, felszerelhetősége és tudása is megjósolhatatlan jelen pillanatban. A folyamatos fejlődésnek köszönhetően akár rövid időn belül is hatalmas változások következhetnek be, amelyek nagymértékben befolyásolhatják a légi járművek jövőjét és a repülésről alkotott véleményünket, elképzeléseinket.¹⁴

¹¹ MAJOR-TÓTH 2022.

¹² MAJOR 2015.

¹³ GAJDÁCS-MAJOR 2022.

¹⁴ UJJADY-MAJOR 2021.

A jövő víziója a legtöbb esetben a felhasználási területek bővítését, a hatékonyság növelését és a gazdaságosság fokozásának szükségességét mutatja, mivel ezek az eszközök az alábbi felsorolást tekintve számos területen játszanak egyre fontosabb szerepet:

- *természetvédelem és erdőfelügyelet:* a pilóta nélküli járművek használata erdőtüz-felderítésre, az illegális erdőirtások felderítésére és az erdők állapotának monitorozására segítheti a természetvédelmi erőfeszítéseket;
- *környezeti monitorozás:* drónok alkalmazása a termőföld minőségének, a növények állapotának vagy a vízfolyások szennyezettségének monitorozására és értékelésére a fenntartható gazdálkodás és erőforrás-használat támogatásához;
- *tengeri és óceáni tevékenységek támogatása:* a tengerek és az óceánok területén a drónok alkalmazhatók a part menti területek állapotának monitorozására, a tengervíz minőségének figyelemmel kísérésére és az esetleges szennyezőanyagok detektálására;
- *katasztrófák utáni helyzetek kezelése:* a drónok segítségével lehetséges a terepfelmérések, a mentési műveletek és a katasztrófák utáni helyzetekben a helyreállítási folyamatok felgyorsítása, minimalizálva ezzel a környezeti terhelést.

Ezek a feladatok közvetlenül vagy közvetetten hozzájárulnak a fenntarthatósághoz, és a pilóta nélküli járművekkel támogatott tevékenységek környezeti terhelése gyakran alacsonyabb, mint a hagyományos, ember által vezérelt módszereké.

A drónok képesek segíteni a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok végrehajtásában, a körforgásos gazdálkodásban és a természetes erőforrások hatékony felhasználásában, ami hozzájárulhat a környezetmegóváshoz is. Ebből kiindulva a pilóta nélküli járműveket (drónok) a környezetre és a fenntarthatóságra gyakorolt hatásaik alapján inkább a fenntarthatóság szempontjából (előállítás, fenntartás és üzemeltetés) érdemes megvizsgálni,¹⁵ ami az következő területekre terjed ki:

¹⁵ European Agency for Safety and Health at Work [é. n.].

- *alapanyagok és gyártás*: a fenntartható pilóta nélküli eszközök előállítása az alapanyagok kiválasztásával kezdődik, amelyek környezetbarátok és újrahasznosíthatók; az alapanyagok takarékos felhasználása és az energiatakarékos gyártási folyamatok alkalmazása is fontos;
- *energiahasználat*: a fenntartható üzemeltetéshez az eszközök energiafelhasználásának minimalizálása vagy a zero emissziójú üzemeltetésre való áttérés szükséges (például nap- és szélenergiával működtetett töltőrendszerek vagy más alternatív energiaforrások alkalmazása);
- *újrahasznosíthatóság és hulladékkezelés*: a tervezés során a drónok újrahasznosítható anyagokból készülhetnek, és a hulladékkezelésre is figyelmet kell fordítani, hogy az elhasznált vagy meghibásodott alkatrészeket megfelelő módon kezeljük, ezáltal ne terheljük túlzottan a környezetet;
- *karbonszint-kompenzáció*: a drónok üzemeltetése során keletkező karbonkibocsátás minimalizálása, valamint a szerkezetek élettartamának meghosszabbítása révén történő karbonszint-kompenzáció;
- *karbantartás és életciklus-menedzsment*: a fenntartható üzemeltetéshez szükség van hatékony karbantartásra és életciklus-menedzsmentre, hogy az eszközök hosszú távon és hatékonyan működjenek, minimalizálva ezzel az új eszközök gyártásából adódó környezeti terhelést.

A fenti módszerek alkalmazása segít abban, hogy a pilóta nélküli eszközöket fenntartható módon állítsák elő, üzembe helyezésük és működtetésük minimális környezeti terheléssel járjon, továbbá hosszú távú fenntarthatóságot biztosítson. Így a drónok környezeti terhelése összességében kisebb lehet, mint a hagyományos – ember által vezetett – járműveké.

Jelenleg olyan kutatások is folynak, amelyek a pilóta nélküli járművek környezeti hatásait vizsgálják. Ezek kiterjednek mind az energiafelhasználásra, mind – a szén-dioxid-kibocsátás függvényében – az általános ökológiai lábnyom mértékére. Egy másik tanulmány szerint az elektromos pilóta nélküli járművek környezeti hatása kisebb lehet, mint a hagyományos belső égésű motorral működő járműveké a felhasznált fosszilis energiahordozó

alkalmazásának üvegházhatása miatt.¹⁶ Egy másik tanulmány energiatermelési és üzemeltetési szempontokra összpontosítva hasonló következtetésekre jutott.¹⁷ Az ilyen típusú adatok segíthetnek abban, hogy megértsük, hogyan járulnak hozzá a pilóta nélküli járművek a környezetvédelemhez és a fenntarthatósághoz a hagyományos járművekhez viszonyítva. Sajnálatos módon jelenleg nincsenek konkrét statisztikai adatok azon tárgyban, hogy mennyivel csökkenthető a környezeti terhelés a pilóta nélküli járművek alkalmazásával. Bár számos tanulmány és kutatás vizsgálja a pilóta nélküli járművek környezeti hatásait, konkrét átfogó statisztikák vagy adatok nem állnak rendelkezésre a csökkentett környezeti terhelésről, amelyet ezek az eszközök eredményezhetnek. A folyamatos kutatás és fejlődés azonban valószínűleg további adatokat és statisztikákat fog előállítani a pilóta nélküli járművek fenntarthatósági potenciáljáról és környezeti hatásairól.

DRÓNÖKOSZISZTÉMA ÉS A TERMÉSZETI SZIMBIÓZIS

Az autonóm (pilóta nélküli) légi járműveknek és azok használatának számos környezeti hatása ismert, amelyeket fontos figyelembe venni a fenntarthatóság szempontjából. Néhány ilyen hatás lehet:

- *környezeti terhelés*: az autonóm légi járművek fejlesztése és üzemeltetése során felhasznált anyagok előállítása, gyártása megnövelheti a károsanyag-kibocsátást, valamint a természeti erőforrások kimerülését; ezenkívül az elektromos meghajtású autonóm légi járművek esetében figyelembe kell venni az akkumulátorok gyártásából, továbbá megsemmisítéséből, semlegesítéséből eredő környezeti hatásokat is;
- *hulladékkezelés*: a pilóta nélküli légi járművek üzemeltetése során keletkező hulladékok, például az üzemanyag-maradványok vagy a meghibásodott alkatrészek szakszerű kezelése és újrahasznosítása is fontos a környezeti terhelés minimalizálása érdekében;

¹⁶ PIPITONE–CALTABELLOTTA–OCCHIPINTI 2021.

¹⁷ RAGHUNATHA et al. 2023.

- *természetvédelmi kérdések*: az autonóm légi járművek szükséges tartályait, szervízlétesítményeit és infrastruktúráját, valamint a járművek repülési útvonalait úgy kell tervezni, hogy minimalizálják az élőhelyek zavarását, illetve a vadállatokra gyakorolt negatív hatásokat;
- *környezetszennyezés*: ugyan az elektromos meghajtású autonóm légi járművek kevésbé károsítják a levegőminőséget, fontos megfontolni azokat a lehetőségeket is, amelyek lehetővé teszik a fenntartható üzemanyagok vagy az alternatív hajtásrendszerek használatát, hogy csökkentsék a környezeti terhelést.

Ezenkívül az autonóm légi járművek hatása az éghajlatváltozásra, a biodiverzitásra, valamint a városi és vidéki területek zajszennyezésére is fontos szempont a környezeti fenntarthatóság szempontjából. A fenntartható fejlesztés és üzemeltetés terén tett erőfeszítések, továbbá a modern technológiai, illetve technikai megoldások segíthetnek minimalizálni ezeket a környezeti hatásokat. Ezek a megoldások az alábbiak lehetnek:

- *elektromos meghajtás*: az elektromos meghajtású autonóm légi járművek használata jelentősen csökkentheti a károsanyag-kibocsátást és a zajszennyezést; az ezen meghajtással működő rendszerek fejlesztése és további kutatásai segíthetnek növelni az energiahatékonyságot, továbbá az üzemeltetési fenntarthatóságot;
- *könnyű anyagok és tervezés*: az új anyagok és a könnyű, valamint aerodinamikailag előnyösebb kialakítású szerkezetek fejlesztése lehetővé teszi a repülőgépek súlyának csökkentését, ami kevesebb üzemanyag-felhasználáshoz és alacsonyabb környezeti terheléshez vezethet;
- *fejlett légi forgalmi irányítás és repülésiútvonalo-optimalizáció*: a fejlett szoftveres és hardveres rendszerek segíthetnek optimalizálni az irányítást és a repülési útvonalakat, ami csökkentheti a környezeti hatásokat, például a károsanyag-kibocsátást és a zajszennyezést;
- *fenntartható üzemanyagok*: a környezetbarát üzemanyagok, például a bioüzemanyagok vagy a hidrogén, hozzájárulhatnak a kibocsátások

csökkentéséhez, ha az autonóm légi járművek ezeket használják hagyományos üzemanyagok helyett.

- *új generációs repülőgépek tervezése*: az új generációs repülőgépek kifejlesztése és tervezése lehetővé teszi az alternatív meghajtási technológiák, energiatakarékosabb rendszerek és környezetbarát anyagok felhasználását.

Ezen technológiák és megközelítések, valamint a kutatási-fejlesztési erőfeszítések lehetővé teszik az autonóm légi járművek fenntarthatóságának folyamatos javítását a környezeti hatások csökkentése érdekében. Fontos azonban megfelelő szabályozásokat és ellenőrzéseket kialakítani annak érdekében, hogy ezek a technológiák valóban hozzájáruljanak a fenntarthatósághoz. Mindezt úgy tudjuk a leghatékonyabban megtenni, hogy ezeket a robotrendszereket egy egységként kezeljük az ötlet megjelenésétől a felhasználáson és a továbbfejlesztésen keresztül egészen az újrahazszoosításig. Mindezt olyan rendszermodellben képzeljük el, amely technikai, innovációs ökoszisztémaként, szervezetrendszerként értelmezhető. Ez a rendszer minden ismert tudományterületi értelmezésben komplex jelenségre utal, így ezért a rendszert alkotó elemek közötti interakcióknak számos formáját és minőségét tudjuk megkülönböztetni. Ebből következően az interakció a kölcsönös viszonyt, az egymásra utaltságot jelenti, míg az együttműködés már szorosabb kapcsolatot feltételez a felek között, közös, de legalább koordinált munkát vetít előre. Ennek a kooperációnak az értelme és fontossága a közös cél tényleges megvalósítása. Az együttműködés szintje társadalomtudományi szempontból, formailag általában lehet egyéni, csoportos, intézményi, ágazati, regionális, nemzeti és nemzetközi. A pilóta nélküli légi járművek használata és az ökoszisztéma fogalma azon az elven kapcsolódik össze, hogy lényegében a bármilyen szinten megvalósuló és működő rendszer alapfeltétele, hogy legyenek résztvevői, meghatározott célja, a tevékenységének valamilyen eredménye, és mindez valamilyen jellegű intézményes, de legalábbis egyfajta koncepcionális keret alapján valósuljon meg. Az ökoszisztéma kifejezés mindezt annyiban árnyalja, hogy a vizsgálatban

nagyobb hangsúlyt kap a rendszerben/szervezetben részt vevők együtt fejlődése, együttműködése. Lényegében tehát drónökoszisztéma kialakítására valóban a szervezeti, mikroszinttől egészen a makro-, nemzetközi szintig van lehetőség; sőt, az életben a különböző vertikális szinteken egy időben is megvalósulnak ökoszisztémás együttműködések, emellett a résztvevők egyszerre több szervezetrendszernek is résztvevői lehetnek. Olyan hálózatos együttműködési formáról van tehát szó, amely nagyon dinamikus, folyamatosan változik, így a szereplőktől kifejezetten nagy rugalmasságot igényel. Nincsenek nemzeti vagy regionális határai, a vállalati, üzleti célú ökoszisztéma működési keretét a fogyasztók termékekkel és szolgáltatásokkal kapcsolatos igényei és visszajelzései jelentik.¹⁸ Mindezekből adódóan a drónökoszisztémát az alábbi definíció mentén képzelem el: *a drónökoszisztéma olyan szimbiózisra alapuló multidiszciplináris rendszer, amely működésének, életterének, feladatrendszerének központi eleme a pilóta nélküli légi jármű, a maga szerkezetileg elkülönült, moduláris részegységeivel, struktúrájával. A rendszert a tudományos, innovatív látásmód és fejlesztő háttér, a gyártási infrastruktúra és kapacitás, a know-how-val rendelkező oktató-, képző-, kutatóintézmények, a drónbarát jogszabályi háttér, az ösztönző és szabályozó jellegű piac, a finansziális és támogató adminisztráció, valamint a szakértői fórumokkal bíró felhasználói környezet, a nyilvánosság és a média közvéleményt befolyásoló szerepével alkotja és teszi elérhető, hatékony és felhasználóbarát hálózattá.*

A definícióban leírtakból következően belátható, hogy a szervezetrendszer a felhasználás környezete, a feladat és az abban részt vevő drón(ok) környezetre gyakorolt hatása, a pilóta nélküli eszköz szerkezeti felépítése, a platform által hordozott szenzorcsomag, valamint az irányítási és háttérszámítási támogatási egység alkotja. Egy-egy feladatot, tevékenységet egy-egy drón (távpilóta irányítása alatt vagy akár autonóm módon) képes hatékonyan megoldani, de a teljes feladatrendszer egymásba kapcsolódó, összefonódó elemeinek hatékony megoldása csakis a drónökoszisztéma teljes spektrumának (6. ábra) kihasználásával valósítható meg.

¹⁸ HORVÁTH 2021.



6. ábra: A drónökoszisztéma elemei

Forrás: a szerző szerkesztése

Ám amennyiben a rendszer egyik része meghibásodik, vagy túlterheli a másikat, akkor valószínűleg a többi részét is hátrányosan érinti ez a defektus. Ez megfelelő meghatározásnak tűnik a dróniparra, a drónökoszisztémára, ahol a technológia, a politika, a szabályozás és a nyilvánosság egyaránt befolyásolja, hogy virágzik-e az ökoszisztéma, vagy sem. A szervesen előforduló biológiai ökoszisztémákkal ellentétben azonban a dróniparnak lehetősége van kipróbálni a rendszeren belüli különféle rendszereket életképességük, felhasználhatóságuk, hatékonyságuk, környezetre gyakorolt hatásuk, fenntartható és biztonságos üzemeltethetőségük érdekében, mielőtt széles körben alkalmaznák azokat.

KÖVETKEZTETÉSEK

A pilóta nélküli légi járművek (illetve azok rendszerei) jelentős előnyei miatt számtalan publikáció, tanulmány és pályázat foglalkozik a drónok

alkalmazásának lehetőségével. Ebben a tanulmányban a szerző áttekintette és összefoglalta azt a területet, amelyben a pilóta nélküli légi járművek csupán szereplői a környezetünk megóvásáért folytatott küzdelemnek. A drónokozisztéma megteremtése, fenntartása és megóvása hosszú távon letéteményese lehet egészséges ökológiai környezetünknek.

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 erről a világról, 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, továbbá az állatok kihalása.

A pilóta nélküli légi járművek megjelenésével számos új, az előzőekben felsorolt lehetőség nyílt meg az emberiség számára. Az UAV-ok és rendszereik mint számos más nagyszerű újítás, a hadi célok megvalósításának érdekében jöttek létre, és fejlődésükkel, valamint a bennük rejlő lehetőségekkel tették lehetővé, hogy a civil szférában is elterjedhessenek. Jelenünk jelentős részévé váltak a robotrepülőgépek, amelyek alkalmazásával könnyebbé válik bizonyos feladatok megvalósítása, lehetőség nyílik a munkafolyamatok hatékonyságának további növelésére, valamint a szórakoztatás területén is kellemes, látványos elemekben gazdag időtöltést biztosíthatnak.

Az autonóm (pilóta nélküli) légi járműveknek számos pozitív hatása lehet az ökológiai lábnyom csökkentése szempontjából. Ezek a járművek általában kisebb energiafogyasztással üzemelnek, mint a hagyományos repülőgépek, és lehetőséget nyújtanak a szabályozottabb, hatékonyabb repülésre, ami kevesebb üzemanyag felhasználásával járhat. Emellett az autonóm légi járművek segíthetnek optimalizálni a repülési útvonalakat, a légi forgalmat, csökkentve ezzel a légszennyezést és a károsanyag-kibocsátást.

Azonban fontos megfontolni az autonóm légi járművek potenciális negatív hatásait is. Például az ilyen típusú járművek fejlesztése és üzemeltetése újabb kihívások elé állíthatja a légi közlekedés biztonságát és szabályozását. Emellett az autonóm légi járművek zajszennyezést is okozhatnak, különösen városi területeken.

Összességében az autonóm légi járművek lehetnek hatékony eszközök az ökológiai lábnyom csökkentése érdekében, de fontos, hogy fejlesztésüket és üzemeltetésüket a környezetvédelem és a fenntarthatóság szem előtt tartásával végezzék. A megfelelő szabályozás és ellenőrzés segíthet maximalizálni az autonóm légi járművek pozitív hatásait az ökoszisztéma védelme érdekében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 20220602PHT32031_original.jpg [é. n.]. European Parliament. Online: www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20220602PHT32031/20220602PHT32031_original.jpg
- Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése: az EU céljai és politikái (2018). Európai Parlament. Online: <https://bit.ly/3ETd5Z5>
- BÉKÉSI Bertold – MAJOR Gábor (2022): A drónok konfigurációi, alkalmazási területei. In PÁY Gábor (szerk.): *Műszaki tudomány az északkelet-magyarországi régióban 2022*. Nyíregyháza: Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, 301–307. Online: www.nye.hu/sites/default/files/u5/KFI/Acta7.pdf
- BÉKÉSI Bertold – SZEGEDI Péter (2015): Napjaink fegyverrendszer fejlesztési trendjei. *Economica*, 8(4/2), 174–184. Online: <https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2015/8/4/2/4603>

- Ecological Footprint [é. n.]. Global Footprint Network. Online: www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/
- European Agency for Safety and Health at Work [é. n.]: *Unmanned Aerial Vehicles: Implications for Occupational Safety and Health*. Online: https://osha.europa.eu/sites/default/files/Unmanned-aerial-vehicles-and-OSH_en.pdf
- GAJDÁCS László – MAJOR Gábor (2022): Katonai célú drónok fejlesztése a jelenkorban, a jövőt vizionálva. In FÖLDI László (szerk.): *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III*. Budapest: Ludovika, 101–120.
- GUPTA, Suraj G. – GHONGE, Mangesh M. – JAWANDHIYA, P. M. (2013): Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 2(4), 1646–1658. Online: www.uxvuniversity.com/wp-content/uploads/2014/04/Review-of-Unmanned-Aircraft-System-UAS.pdf
- HORVÁTH Klaudia Gabriella (2021): Az innovációs ökoszisztéma folyamatok fejlesztésének lehetőségei. *Polgári Szemle*, 17(1–3), 348–357. Online: <https://doi.org/10.24307/psz.2021.0725>
- International Civil Aviation Organization (2011): *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Online: www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_en.pdf
- Károli Gáspár revideált fordítása [é. n.]. *Szentírás*. Online: <https://szentiras.hu/KG>
- KHAN, Danish – WANG, Zhaohua (2019): Investigation of the Ecological Footprint's Driving Factors: What We Learn from the Experience of Emerging Economies. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101626. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101626>
- MAJOR Gábor (2015): A pilóta nélküli légijármű rendszerek nemzetbiztonsági célú felhasználásával kapcsolatos kutatások. *Repüléstudományi Közlemények*, 27(1), 115–120. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-10-0181-Major_Gabor.pdf
- MAJOR Gábor (2022): A természetes vízbázisok jellemzőinek feltérképezése és védelme drónok segítségével. *Polgári Védelmi Szemle*, 14 (DAREnet projekt-különszám), 50–63.
- MAJOR Gábor – BÉKÉSI Bertold (2023): Földön, vízen, levegőben – pilóta nélkül, avagy a robotok segítenek vagy ártanak? *Repüléstudományi Közlemények*, 35(2), 169–175. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2023.2.18>
- MAJOR Gábor – TÓTH Zoltán (2022): A pilóta nélküli légi járművek együttműködésének lehetőségei a szárazföldi erőkkel egyes katonai műveletekben. *Repüléstudományi Közlemények*, 34(1), 61–75. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2022.1.4>

- PIPITONE, Emiliano – CALTABELLOTTA, Salvatore – OCCHIPINTI, Leonardo (2021): A Life Cycle Environmental Impact Comparison between Traditional, Hybrid, and Electric Vehicles in the European Context. *Sustainability*, 13(19), 10992. Online: <https://doi.org/10.3390/su131910992>
- RAGHUNATHA, Aishwarya et al. (2023): Critical Assessment of Emissions, Costs, and Time for Last-Mile Goods Delivery by Drones Versus Trucks. *Scientific Reports*, 13, 11814. Online: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38922-z>
- Tények és adatok az autók szén-dioxid-kibocsátásról (infografika) (2019). Európai Parlament. Online: www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20190313/STO31218/tenyek-es-adatok-az-autok-szen-dioxid-kibocsatasrol-infografika
- UJJADY András – MAJOR Gábor (2021): A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl. *Repüléstudományi Közlemények*, 33(2), 167–180. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.12>