

Békési Bertold, Gajdács László, Knapiczius Attila

Drónok meghajtás szerinti lehetséges szerkezeti felépítései

A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) kritikus platformokként jelentek meg különböző területeken, beleértve a megfigyelést, a felderítést, a logisztikát és a légi fényképezést. A meghajtórendszerek döntő szerepet játszanak az UAV-k hatékony és megbízható működésének lehetővé tételében. Az ideális meghajtórendszer kiválasztása számos tényezőtől függ, például a feladat követelményeitől, a repülés időtartamától, a hasznos teherbírástól és a környezeti/környezetvédelmi szempontoktól. Míg a múltban a belső égésű motorok domináltak, kedvező tulajdonságaik miatt egyre nagyobb teret nyernek az elektromos és hibrid rendszerek. A meghajtástechnológia folyamatos fejlődése ígéretesnek bizonyul, a jövőben nagy teljesítményű, hatékonyabb és környezetbarátabb UAV-k gyártását teszi lehetővé. Ez az összefoglaló áttekintést nyújt az UAV-kban használt különböző meghajtási rendszerekről, kiemelve azok legfontosabb jellemzőit, előnyeit és kihívásait.

Kulcsszavak: UAV, meghajtás, hibrid konfiguráció, architektúra

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben robbanásszerűen megnőtt a pilóta nélküli légi járművek (UAV-k), más néven drónok, pilóta nélküli légi/repülőgépes rendszerek (UAS) vagy távirányítású repülőgépes rendszerek (RPAS) alkalmazásainak száma.

A drónok fejlődésének egyértelmű alappillérei, amelyek megkövetelik napjainkban is az eszközök továbbfejlődését, a tudomány és technika előrehaladása. Egyértelműen kijelenthetjük, hogy a kor és tudomány haladtával eszközeink kisebbek, kompaktabbak, intelligensebbek, és akár kompatibilisek más eszközökkel [6]. A technológiai folyamatok terén az elmúlt években a mesterséges intelligencia [31] és a mikroprocesszoros technológia fejlődésével az UAV-k egyre nagyobb figyelmet kaptak, amelynek eredményeképpen olyan légi robotokká váltak, hogy összetett feladatokat is képesek ellátni [22], [23], [37]. A kutatás és a fejlesztés egyre inkább az autonóm működés és a többcélú feladatok végrehajtása irányába tolódik, amit a mesterséges intelligencia kutatása és további fejlesztése tud megfelelően támogatni [16]. Könnyű használhatóságukkal, biztonságosságukkal, alacsony költségükkel és környezetbarát jellegükkel az UAV-k különféle típusú veszélyes, nagy hatótávolságú és hosszú távú küldetéseket hajthatnak végre katonai és polgári területeken, és így egyre nagyobb részt foglalnak el a légi járművek piacán. A világ országai szintén nagy jelentőséget tulajdonítanak a különféle UAV-technológiák fejlesztésének, hogy megfeleljenek a különféle küldetési követelményeknek [37].

A légi járművek tervezésének korai szakaszában, amikor a rendszert alkotó elemek összessége még nem áll tökéletesen össze, lehetőségünk nyílik arra, hogy a kívánt hatást és célt elérve a hagyományos megvalósítások mellett olyan megoldásokhoz is folyamodhassunk, amelyek csak évtizedekkel később jelennek meg a konvencionális kialakítások után, de lehetővé teszik egy-egy cél hatékonyabb végrehajtását [2].

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 osztályozására [27]. Vagyis a kategorizálásnak célja általában az, hogy valamilyen kritériumok szerint rendezett és egységes képet nyújtson a további vizsgálatokhoz [5]. A drónok különböző paraméterek alapján különféle osztályozásokkal rendelkeznek, azaz az UAV-kat feloszthatjuk a következők szerint:

- feladat típusa (polgári vagy katonai) [5];
- a repülési zóna típusa (beltéri és kültéri) [5];
- a műveleti környezet (földi, légi, felszíni, víz alatti, űrbéli) [5], [33];
- felépítés (merek-, forgószárnyas, hibrid és biológiai alapúak) [5], [8], [9], [10], [11], [27];
- felhasználás módja (egyszeri és többszöri) [8], [9], [10], [11];
- a meghajtás módja (dugattyús, gázturbinás és elektromotoros) [8], [9], [10], [11];
- az irányítás módszere [autonóm (programvezérelt), megosztott autonóm (kombinált vezérlésű) és távműködtetésű (távirányítású)] [1], [8], [9], [10], [11];
- az indítás módja (földi és légi indítású) [8], [9], [10], [11];
- visszatérés módja (leszállással, ejtőernyővel, elfogó hálóval) [8], [9], [10], [11];
- repülési jellemzők (sebesség, magasság, hatósugár, repülési időtartam) alapján is [8], [9], [10], [11].

A felhasználók szempontjából a fő jellemzők, amelyek alapján összehasonlítják és kiválasztják az UAV-kat: a repülés időtartama, a hatótávolság, a hasznos teher felhasználhatósága, alkalmazhatósága, illetve fizikai méretei [3], [7]. Fontos szempont a légi járművek esetében, hogy milyen sebességgel képesek repülni, mekkora a hasznos terhelhetőségük, illetve milyen hatótávolságra tudnak eljutni. Ebben az esetben is a légi jármű feladatkörének megfelelően vannak, amelyeket kisebb vagy nagyobb távolságra alkalmaznak, illetve a sebesség tekintetében is, ha a feladatkör azt kívánja, akkor hangsebesség feletti sebességgel repülő légi jármű is rendelkezésre áll már napjainkban [5], [14]. Az 1. táblázat az UAV-k előnyeit és hátrányait mutatja be különböző paraméterek, jellemzők alapján [27].

1. táblázat
UAV-típusok összehasonlítása (Békési Bertold [27] alapján)

UAV típusa	merekszárnyas	forgószárnyas	csapkodószárnyú
Ár	közepes	közepes	magas
Manőverező képesség	alacsony	magas	közepes
Gyártás és javítás	közepes	közepes	magas
Hatótávolság	magas	közepes	alacsony
Repülésbiztonság	közepes	közepes	alacsony
Energiafelhasználás	alacsony	magas	közepes
Polgári alkalmazás	közepes	magas	közepes
Katonai alkalmazás	magas	közepes	alacsony

A táblázatból látható például, hogy a forgószárnyas UAV-kat (multirotor) gyakrabban használják mind a polgári, mind a katonai alkalmazásokban, olyan előnyök miatt, mint a költség és a nagy manőverezhetőség [27]. 2004-ben az UAV-gyártás 98%-a katonai célú volt. A polgári alkalmazásokban használtak többsége katonai UAV-fejlesztésre vezethető vissza. A polgári felhasználásra szánt drónok nagyon kis és jelentéktelen arányt képviseltek (körülbelül 2%) a katonai célokra használt UAV-khoz képest. A fennmaradókat katonai, kereskedelmi és nem kormányzati szervezetek üzemeltették, a katonai és a kereskedelmi piac között jelentős átfedésekkel [28]. Abban az időben a katonai területen leginkább a merevszárnyúakat használták. Az UAV-kon elérhető tudomány és technológia fejlődésével és népszerűségével a forgószárnyas eszközök egyre népszerűbbek lettek a hobbisták, a kereskedelmi szervezetek és a kormányok számára is. 2019-es adatok alapján az USA-ban a forgószárnyas UAV-k a globális piaci részesedés 62,6%-át tették ki, míg a merevszárnyúak 25,4%-ot, a hibrid pedig 12%-ot [35].

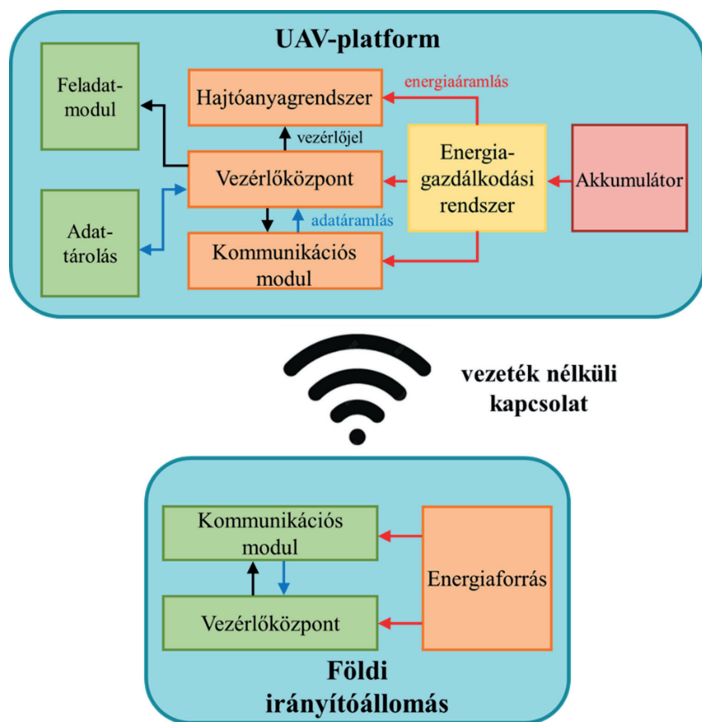
A forgószárnyas drónok energiafogyasztásának problémája azonban még mindig nagy kihívást jelent, mivel gyakran sok elektromos motort használnak (4, 6, 8, 10, 12), így az ehhez felhasznált energia nagyon nagy, ami a forgószárnyasok repülési idejét rövidebbé teszi (a kereskedelmi forgalomban kapható forgószárnyas UAV-k repülési ideje általában kevesebb, mint 1 óra) [27]. A pilóta nélküli légi járművek meghajtási technológiája jelentős mértékben kapcsolódik az UAV-k repülési teljesítményéhez, amely a repülés egyik legfontosabb fejlesztési irányává vált. A cikkben a szerzők az UAV-k meghajtási lehetőségeit tárgyalják (üzemanyag-, üzemanyag-elektromos hibrid és tisztán elektromos UAV-meghajtórendszerek), kiemelve azok legfontosabb jellemzőit, előnyeit és kihívásait.

2. UAV-k meghajtórendszerének konfigurációja

Az UAV tervezésénél és építésénél az egyik legfontosabb feladat, hogy a rendszer a lehető leghosszabb ideig működőképes legyen, ami a drón élettartamának növelését jelenti. Ennek a problémának a megoldására számos módszert alkalmaznak, például az UAV-formák optimális aerodinamikai paraméterekkel való tervezése a súrlódás és az aerodinamikai ellenállás csökkentése érdekében, vagy az UAV-rendszer tömegének csökkentése. Ezeknek a módszereknek számos előnye van, de amikor elérnek egy bizonyos szintet, nehéz továbblépni. Egy másik megközelítés, amelyre számos kutató összpontosította kutatásait, az UAV-k energiaellátásának megoldása. A pilóta nélküli légi jármű energiatároló rendszer kapacitáskorlátozása az UAV-alkalmazások szempontjából kulcsfontosságú műszaki kihívás. Az UAV-típusok közül a multirotor az egyik leggyorsabb energiafogyasztású gép. Legtöbbjük akkumulátorának élettartama kevesebb mint 60 perc. E probléma megoldására két lehetőség van: az akkumulátor kapacitásának növelése és az akkumulátor feltöltése. Az akkumulátor kapacitásának növelése esetén azonban ennek a lehetőségnek van néhány hátránya, amikor a jelenlegi akkumulátortechnológia meglehetősen korlátozott. Egészen pontosan az akkumulátor kapacitásának növelésével nő az akkumulátor tömege, amelyet az UAV-nak magával kell vinnie. Számos módszert vizsgáltak az akkumulátorban lévő energiasűrűség növelésére, de még nem történt nagy előrelépés. Az UAV működési idejének növelése érdekében a kutatás és fejlesztés középpontjában az akkumulátor külső forrásból való újratöltésének módszere áll. Az akkumulátor töltésére két módszer létezik: a vezeték nélküli és a vezetékes töltés. A jelenlegi vezetékes töltési technikának vannak korlátai, például a bonyolultság, a nem megfelelő

mobilitás és az alacsony hatékonyság. Eközben a vezeték nélküli töltési technika megoldotta a vezetékes töltés korlátait, amivel kellően nagyobb mozgásszabadságot biztosít. Az UAV-k hosszabb ideig és folyamatosan működhetnek anélkül, hogy töltés céljából vissza kellene térniük a bázisukra. A vezeték nélküli töltési módszerek széles skáláját kutatták és fejlesztették ki a hatékony akkumulátortöltési technika megtalálása érdekében. Ezeknek a módszereknek megvannak a maguk előnyei és hátrányai – ezt a területet nem tárgyaljuk a tanulmányunkban –, amivel a [27] irodalom foglalkozik részletesebben.

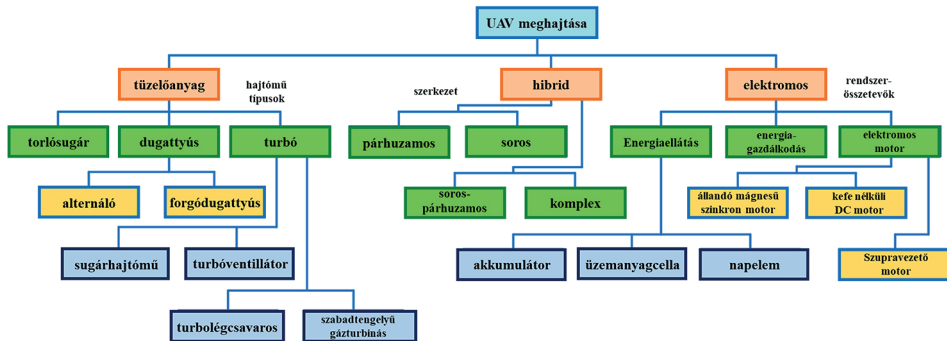
A tervezett küldetés pontos teljesítése érdekében az UAV-nak és az őt támogató rendszernek stabilan és rendezetten kell együttműködniük. Általánosságban az UAV-k légi járműből, földi vezérlőrendszerből, hasznos teherrendszerből és adatkommunikációs rendszerből állnak. Néhány nagy UAV-nak gyakran szüksége van egy felszállási és helyreállítási, valamint földi támogató rendszerre és más alkatrészek támogatására is (1. ábra).



1. ábra

Pilóta nélküli repülőgéprendszerek összetétele (Békési Bertold [37] alapján)

A meghajtórendszer az UAV teljesítményének magja, általában energiaforrásokból és hajtóművekből (teljesítményegységekből) áll, amelyek magukban foglalják a hajtóműveket és az elektromos motorokat. Az energiaforrások szerint az UAV meghajtórendszerei nagyjából három típusba sorolhatók, beleértve az üzemanyagot, a hibrid üzemanyag–elektromos és a tisztán elektromos rendszert (2. ábra).



2. ábra

Az UAV-hajtóművek osztályozása az energiatípusok alapján (Békési Bertold [37] alapján)

Ezek közül a hagyományos üzemanyag-meghajtású rendszerek több kategóriába sorolhatók, mint például dugattyús, gázturbinás és sugarhajtóműves motorok a különbség szerint [37]. A dugattyús motorral hajtott járművek általában egy- vagy többhengeres (kettő, négy) változatban vonó, illetve toló légsavarral készülnek. Előnyük, hogy kevésbé zajosak, megbízhatók, és kevés kiegészítő berendezés szükséges működésükhöz [15]. A gázturbinás hajtóművek a propulzió létrehozásának módjától függően lehetnek: sugarhajtóművek (egyáramú-, és kétáramú sugarhajtóművek); turbólégcsavaros hajtóművek; légsavar-ventilátoros hajtóművek [30].

A hagyományos üzemanyag-meghajtási rendszereket használó UAV-k előnye a nagy hasznos teher, a hosszú repülési időtartam, kiterjedt hatótáv, a gyors utántöltés lehetősége. Ezek azonban zajjal és károsanyag-kibocsátással járnak és rendszeres, összetett karbantartást igényelnek. A növekvő környezeti problémák és a fosszilis tüzelőanyagok kimerülése miatt azonban a repülőgépek energiaproblémája folyamatos kihívássá vált; így most a hibrid és a tisztán elektromos UAV-k állnak a figyelem középpontjában. A hibrid meghajtási rendszer egy hajtóműből és egy villanymotorból áll, amelyek együttesen állítják elő a repülőgép repüléséhez szükséges energiát, ami a hagyományos üzemanyag-meghajtáshoz képest mintegy 30%-os üzemanyag-fogyasztást takarít meg [37].

Az elektromos meghajtási rendszerek akkumulátorokat vagy üzemanyagcellákat¹ használnak energiaforrásként, amelyek nagyobb hatékonyságot és környezeti fenntarthatóságot biztosítanak. Az általuk használt elektromos motorok viszont egyre népszerűbbek alacsony zajszintjük, csökkentett károsanyag-kibocsátásuk és egyszerűsített karbantartási követelményeik miatt. Az elektromos meghajtású UAV-k számára azonban továbbra is kihívást jelent a korlátozott energiatárolási kapacitás és a rövidebb repülési időtartam [37].

¹ Az üzemanyagcella egy galvánelem, amely átalakítja az üzemanyag kémiai energiáját elektromos energiává. Az üzemanyagcellák működésük során nem juttatnak a környezetükbe olyan káros anyagokat, mint a hagyományos tüzelőanyagok (nitrogén-oxidok, kén-dioxid, illetve lebegő részecskék), így akár környezetbarátok is nevezhetők (lenne). Viszont a hidrogén betáplálásuk vízgőzt bocsátanak ki magukból, ami a magasabb légrétegekben, ahol a légi járművek közlekednek, hozzájárul az üvegházhatáshoz. Ezenkívül, a működéshez szükséges hidrogén előállításuk jelenleg döntő hányadában nem környezetbarát technológiákkal, fosszilis eredetű energiahordozók felhasználásával történik (pl. gőz-, katalitikus reformálás, elektrolízis), ami így kizárja a H₂ környezetbarát besorolását [4], [26].

3. Hagyományos üzemanyag-meghajtó rendszer UAV-hoz

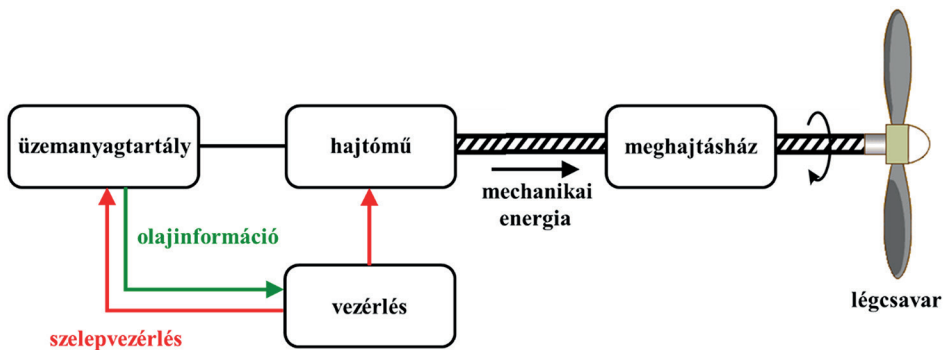
A hagyományos tüzelőanyagok töltik be a legnagyobb szerepet a repülőgépek üzemeltetésében. A pilóta nélküli légi járművek esetében viszont ez már korántsem igaz, így egyértelműen nem jelenthető ki. Az UAV üzemanyag-meghajtási rendszere az a mechanizmus, amely lehetővé teszi a pilóta nélküli légi járművek számára a repülés elérését és fenntartását az üzemanyag mechanikai energiává alakításával. Ennek a rendszernek az elemei a legelterjedtebbek nemcsak légi, de más közlekedési módok esetében is, hiszen a technológia egyik legrégebbi és legfinomabban csiszolt ága. Ellentétben a feltörekvő új rendszerekkel, az eljárás működésének szinte minden előnye és hátránya ismert, így a megfelelő infrastruktúra és gyártási eljárások rendszerei is rendelkezésre állnak [25].

Az üzemanyaggal működő UAV-k alapvetően két kategóriába sorolhatók: dugattyús és turbinás motorok. A légi járművek hajtóműveinek részletes felosztásával a [9], [17], [30], [36] irodalmak foglalkoznak. A 2. táblázat a különböző hajtóművek teljesítmény-összehasonlítását mutatja be. A polgári és a katonai repülőgépekhez képest az UAV-k többségében sokkal kisebb méretűek. Ezért, bár a hajtóművek alapjai megegyeznek a nagy repülőgépekével, az UAV-hoz alkalmas hajtóműveknek számos jellemzővel kell rendelkezniük, beleértve a hosszú élettartamot, a kis térfogatot, a nagy teljesítmény-tömeg arányt, a robusztusságot és a könnyű karbantartást. Hatásfokát tekintve a legideálisabb meghajtási forma az üzemanyagok energiasűrűségének köszönhetően.

2. táblázat
Különböző típusú hajtóművek és UAV-k repülési jellemzői (Békési Bertold [37] alapján)

Típus	Hajtómű jellemzői			UAV jellemzői			
	kimeneti teljesítmény	fordulatszám	teljesítmény-tömeg arány [kW/kg]	sebesség [km/h]	repülési magasság [m]	repülési idő	tömeg [kg]
dugattyús motor	20–400 LE	3000–7000	0,76–1,37	110–260	2500–9700	< 40	< 1150
forgódugattyús motor	< 120 LE	6000–12 000	< 4,1	–	2500–8000	–	< 1000
sugárhajtómű	< 170 kN	–	< 10	700–1100	3000–14 000	< 2,5	< 2500
nagy kétáramúsági fokú gázturbinás hajtómű	< 560 kN	–	< 11	500–1100	3000–20 000	< 42	< 12 000
turbólégcsavaros hajtómű	< 1000 LE	1000	< 4	350–500	14 000–16 000	< 32	< 3200
szabad tengelyű gázturbinás hajtómű	< 9000 LE	–	3–7	180–300	4000–6100	< 4	< 1500

Az UAV üzemanyag-meghajtó rendszere általában egy üzemanyag-ellátó rendszerből, hajtóműből/elektromos motorból, mechanikus erőátvitelből és légcsavarból áll (3. ábra). A rendszer felépítéséből ismert, hogy a hajtómű/motor kétségtelenül az üzemanyag-meghajtó rendszer magja, amely az energiaátalakítás és az UAV-tápegység szerepét tölti be.



3. ábra
Üzemanyag-meghajtás architektúrája (Békési Bertold [37] alapján)

Mivel jól bevált eljárásról beszélünk, a szükséges infrastruktúra és a karbantartáshoz szükséges követelmények ebben az esetben állnak a leginkább rendelkezésre [37].

4. Hibrid meghajtás

Az UAV-k üzemanyagmeghajtó rendszereinek fejlesztése egyre érettebbé válik. A kőolajkészletek kimerülése vagy a károsanyag-kibocsátás növekedése miatt egyre súlyosbodó éghajlati viszonyok mind jól mutatják, hogy a jól bevett, hagyományos eljárások kezdenek elavulttá válni, és nem elégítik ki az új kor követelményeit [37]. Hasonló akadályokat állít fel az egyes országok külpolitikája. Nincs olyan állam, amelynek a gazdasága teljes mértékben független lehetne, a természeti erőforrások szétszórtnan találhatók meg a Föld különböző pontjain, így a gyártást más országok gazdaságpolitikája is befolyásolja [34].

A hibrid-elektromos repülőgépek vizsgálata a légi közlekedés jövőjének egyik lehetséges megoldása, és akár végleges választ is jelenthet az olyan kihívásokra, mint a repülés gazdaságossága, az üzemanyag-hatékonyság növelése, a csendesebb gépek és a szennyező anyagoktól mentes levegő, az Európai Unió *Flightpath 2050 Vision* című dokumentuma szerint [12]. A légi közlekedés jövőbeli fejlődését a *Flightpath 2050 Vision*, a NASA N+ stratégiája, az FAA² és az ICAO³ által megfogalmazott környezetvédelmi célok teljesítésének követelményei határozzák meg. A legambiciózusabb célokat az Európai Unió *Flightpath 2050 Vision* tűzte ki, amely a 2000. évi állapothoz (SOA⁴) viszonyítva 65%-kal csökkenti az érzékelt zajkibocsátást, 75%-kal az utaskilométerenkénti szén-dioxid-kibocsátást és 90%-kal a nitrogén-oxidok (NOx) kibocsátását [12], [29].

A NASA N-plusz sorozata három fejlett generációs repülőgép stratégiai fejlesztési céljait vázolja fel a jövőbeni időkeretben: N+1, N+2 és N+3, ahol az „N” a jelenleg használatban

² FAA – Federal Aviation Administration: Szövetségi Légügyi Hivatal.

³ ICAO – International Civil Aviation Organization: Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet.

⁴ State-of-the-art: a legkorszerűbb.

lévő repülőgépekre utal. A legszigorúbb követelményeket az N+3-as időkeretbe tartozó repülőgépekre vonatkozóan fogalmazták meg; a célok között szerepel a 2005-ös szinthez képest 80%-os NOx-kibocsátáscsökkentés az utazórepülés során, 60%-os üzemanyag-csökkentés a 2005-ös SOA-szinthez képest, és 52 decibelben kifejezett effektív érzékelhető zajszint (EPNdB⁵) kumulatív csökkentése a Szövetségi Légügyi Hivatal által meghatározott 4. fokozatú zajszinthez képest. Az ENSZ Nemzetközi Polgári Repülési Szervezete szigorúan felszólított a légi közlekedés nettó CO₂-kibocsátásának 2050-re vonatkozó felső határértékének meghatározására [29].

Az elképzelések meglehetősen előremutatók. Az elektromos meghajtáson alapuló repülőgép-konstrukciók ígéretesnek bizonyulnak arra, hogy a repülőgépek üzemeltetését a környezetileg fenntartható világ számára kívánatos módon alkalmassá tegyék. Következetes kutatási beruházások történtek és történnek a benne rejlő lehetőségek felszabadítására, kilátásba helyezve a környezetvédelmi célok teljesítését [29].

A tisztán elektromos energiát használó rendszerrel való kiváltást is egyelőre az akadályozza, hogy az ilyen irányt vett eljárások még fejlesztés alatt állnak, és az itt felmerülő legnagyobb probléma még mindig az akkumulátor alacsony energiasűrűsége és az erőforrások hatékony tárolása [37].

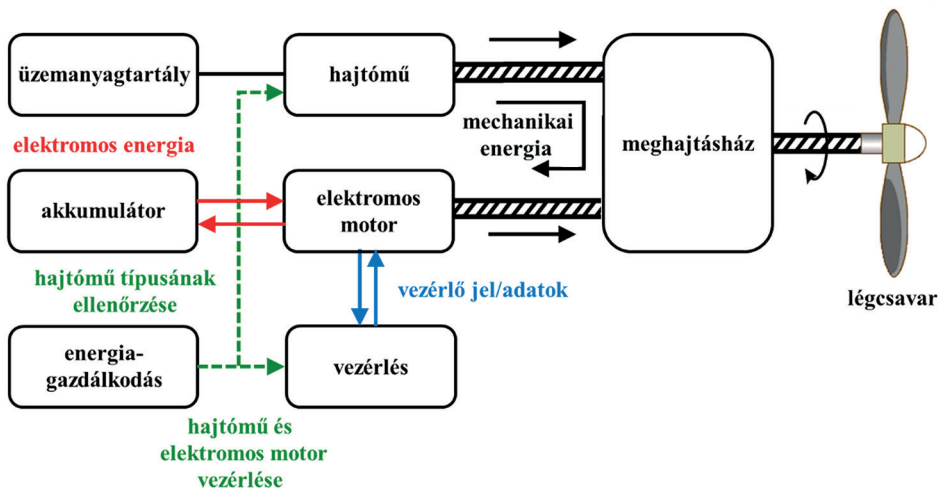
Az üzemanyag-meghajtó rendszerben a veszteség elsősorban a hajtóműből, a mechanikai veszteség pedig az áttételi szerkezet és a hajtótengely súrlódásából származik. A hibrid hajtásrendszerben a tényleges mechanikai veszteségek és hőveszteségek mellett magának a motornak is van bizonyos mértékű energiavesztesége. Ugyanakkor az elektromos energia egy része elvész a motor és az akkumulátor közötti energiaátvitel során. A motor és a hozzá kapcsolódó mechanikai szerkezet növekedése elkerülhetetlenül többlet energiafelhasználással jár. Emellett nem elhanyagolható a hőveszteségből adódó súrlódás a rendszerben, a motorban és az elektromos energia átvitele során a vezetékekben sem [29], [37].

Mivel mind a két meghajtási mód kell ahhoz, hogy a szükséges paraméterek rendelkezésre álljanak, így olyan irányt vettek a korábbi fejlesztések, amelyek a kettő ötvözéséből hibrid meghajtási rendszer létrejöttét eredményezték. Vagyis az UAV-ban alkalmazott üzemanyag-elektromos hibrid meghajtási rendszer egy olyan repülőgép-meghajtási rendszer, amelyben az üzemanyagmotor és a generátor együttesen fejt ki a tolóerőt [37]. Általánosságban elmondható, hogy a hibrid szerkezetek nagyjából párhuzamos, soros, soros-párhuzamos és összetett struktúrára oszthatók aszerint, hogy a motor közvetlenül biztosít-e tolóerőt.

4.1. Párhuzamos hibrid meghajtás

Ebben a rendszerben a belső égésű és a villanymotor/generátor együttes működése adja a szükséges tolóerőt [18]. Felépítését a 4. ábrán láthatjuk.

⁵ Effective Perceived Noise in decibels. Az effektív érzékelt zaj decibelben vagy az effektív érzékelt zajszint (EPNL – Effective Perceived Noise Level) az egyes repülőgépek elhaladási eseményei relatív zajának mértéke. A repülőgép zajtanúsításához használják, és az egyes repülőgépekre vonatkozik, nem pedig a repülőter zajterhelésére.



4. ábra

Párhuzamos hibrid meghajtás architektúrája (Békési Bertold [37] alapján)

A motor teljesítményétől függően (például túl magas) a rendszer a többleteljesítményt elektromos energiává alakítja a generátoron keresztül, és ezt az energiatárolóban tárolja. Ha a motor teljesítménye nem elegendő, az energiatároló eszköz elektromos energiát szabadít fel az elektromos motor meghajtására, hogy kompenzálja az elégtelen motorteljesítményt. Azaz ha a repülés során nagyobb teljesítmény szükséges, az energiatárolóban tárolt elektromos energiát felszabadítja, hogy kompenzálja a motor elégtelen teljesítményét. Ezzel tovább javítható az üzemanyag-ellátás hatékony működése és a rendelkezésre álló energia felhasználása. Ez az üzemmód tovább javíthatja az UAV meghajtórendszerének hatékonyságát az üzemanyag-fogyasztás csökkentése, valamint a repülésidő és a hatótávolság további javítása érdekében. Az energiagazdálkodási rendszer továbbá felügyeli a vezérlést, amely a belső égésű motort és villanymotort üzemelteti, ezzel kihasználva a rendszer azon tulajdonságát, amely a leghatékonyabb működtetést biztosítja ez által [24], [29], [37].

Természetesen ebben a felépítésben is jelen van az energiaveszteség, amely a rendszer komplexitásával növekszik. Ez lehet hő- és mechanikai veszteség, általában a motor esetében ezek a jellemzők. Ezek mellett az elektromos energia egy része is elvész az energiaátvitel során, illetve fontos tényező a sűrűdások következtében fellépő energiaveszteség [21].

A [24] irodalom a MALE⁶ UAV-kon vizsgálta a párhuzamos hibrid meghajtási rendszer megvalósítását. Azért volt érdekes vizsgálati eset, mert a repülőgépek ezen osztálya tekintetében egy viszonylag nagy teljesítményű elektromos gépre mindenképpen szükség van az olyan energiaigényes érzékelők, mint az EO/IR,⁷ a szintetikus apertúrájú radar, a fényképkapó érzékelő és távolságmérő, valamint a műholdas kommunikációs berendezések ellátásához. Az általuk használt hibrid elektromos meghajtórendszer speciális architektúrájának használatával arra

⁶ Medium-altitude, long-endurance: Közepes repülési magasságú, hosszú repülési időtartamú.

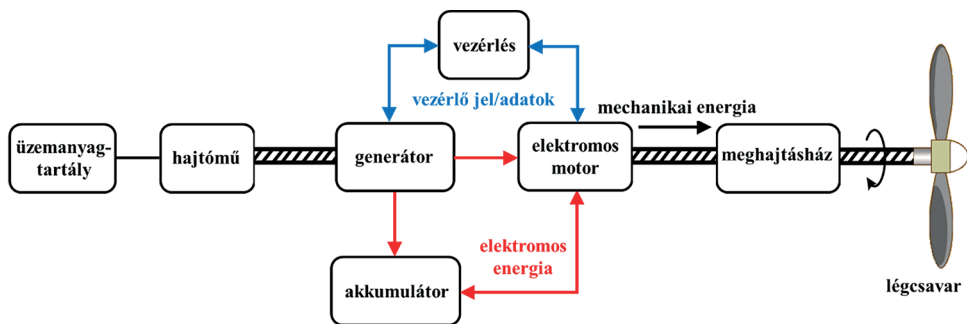
⁷ Electro-optic/infra-red: elektro-optikai/infravörös érzékelő.

a következtetésre jutottak, hogy csökkenthető a repülőgép maximális felszálló tömege (MTOM⁸) és a szükséges üzemanyag (vagy megnövelhető a küldetés hatótávolsága/repülési ideje). Egy másik fontos előny a repülőgép-biztonsági szint növelése a felszállás során. Végül kibocsátási szempontból a csökkentett belső égésű motor (ICE⁹) lényegében csökkenti a zaj- és infravörös kibocsátását, amely korlátozott ideig tovább csökkenthető, ha kikapcsolja az ICE-t és csak elektromos motort használ [24].

4.2. Soros hibrid meghajtás

A soros hibrid hajtásrendszer (5. ábra) legfontosabb jellemzője, hogy a motor nem közvetlenül biztosítja az UAV-hoz szükséges energiát (teljesítményt), hanem a generátort hajtja meg, amelynek segítségével a villanymotor már közvetlenül át tudja adni a kívánt tolóerőt egy mechanikus erőátviteli egységen keresztül [18].

Az alkalmazásban a villanymotor segítségével a légszár meghajtható, hogy a repülőgép indítási és leszállási szakaszában tolóerőt generáljon, amely csökkenti a turbinás hajtómű által termelt nitrogén-oxidokat a talaj közelében, így a gázturbina használható az elektromos motor meghajtására, hogy elektromos energiát állítson elő a nagy magasságban való utazás fázisában, ezzel is növelve a repülőgép hatótávolságát. Ezáltal javítható az energiafelhasználás hatékonysága, csökkenthető az üzemanyag-fogyasztás és csökkenthető az NOx-kibocsátás, ami a környezetvédelemben nagyon fontos [37].



5. ábra
Soros hibrid meghajtás (Békési Bertold [37] alapján)

Ezen túlmenően, mivel a gázturbinákat főként generátorok meghajtására használják az elektromos energia előállítására, és a repülőgépek teljesítménye pedig az elektromos motorokból származik, így a repülőgépek elosztott meghajtási rendszert is alkalmazhatnak, amely több tervezési lehetőséget biztosít az UAV-k aerodinamikai elrendezéséhez. Például a NASA N3-X UAV-ja hibrid meghajtási rendszert használ. A két szabadtengelyű gázturbinás hajtóműve

⁸ Maximum Take-Off Mass: maximális felszálló tömeg.

⁹ Internal Combustion Engine: belső égésű motor.

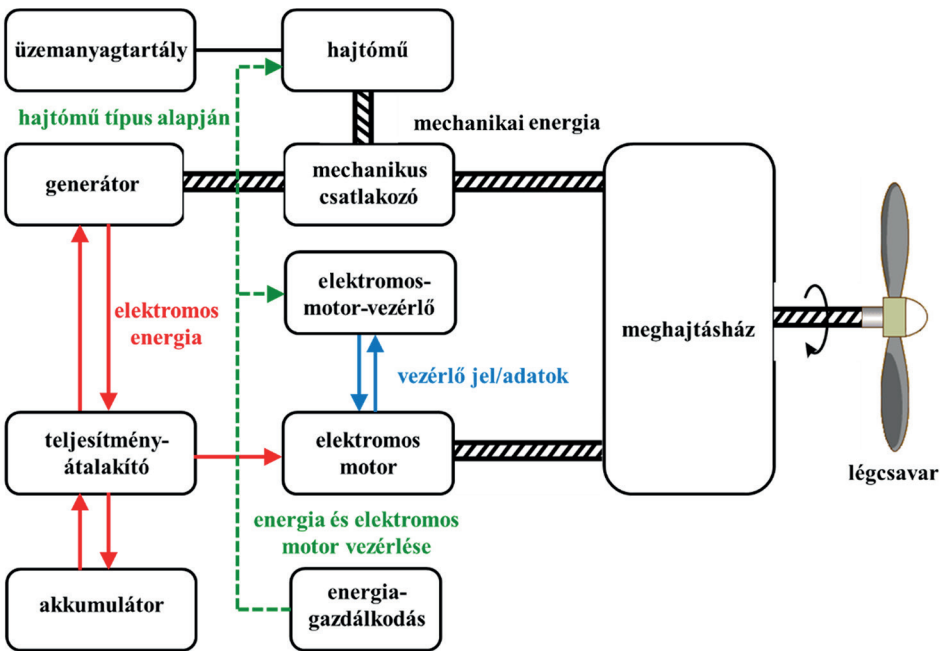
(*turboshaft*), amely két generátort hajt meg, és egy több villanymotorral hajtott meghajtási rendszerből áll [37].

Az architektúra új eleme a párhuzamos rendszerhez képest a generátor, amely megnöveli a maximális felszálló tömeget, illetve energiavesztéséget is generál a mechanikai energia villamos energiává alakítása során, ezek mellett pedig magasabb is az üzemanyag-fogyasztása [18].

A kutatások arra is rámutattak, hogy több soros elrendezés egyidejű, együttes használata is megengedett, sőt, a későbbiekben akár az utasszállító repülőgépek szállításába is integrálható az eljárás [38].

4.3. Soros-párhuzamos hibrid meghajtás

A 6. ábrán látható módon a soros-párhuzamos hibrid szerkezet egy soros és párhuzamos hibrid struktúrák fúziója, ahol az erőegység egy hajtóműből és egy villanymotorból tevődik össze [37].



6. ábra
Soros-párhuzamos hibrid meghajtás (Békési Bertold [37] alapján)

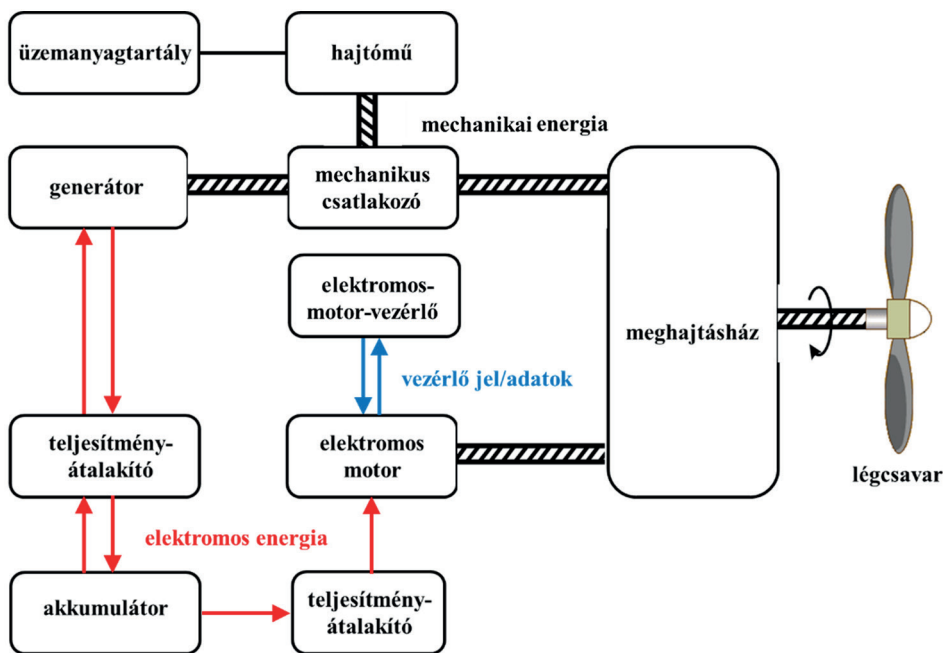
A hajtómű által termelt mechanikai energia részben az áttételházon (meghajtásházon) keresztül jut el a légcsavarhoz, míg a másik részt a generátor állítja elő az elektromos motor forgatásához, vagy az akkumulátorban tárolódik. A repülés során az elektromos motor és a hajtómű együttesen biztosítják az erőt a légcsavar forgatásához. Amikor az UAV kis sebességgel repül, a hibrid energiarendszer főként soros formában működik. Ha nagy sebességgel repül, a rendszer párhuzamos üzemmódban működik. Ezenkívül, amikor a drón aerodinamikai „fékező”

üzem módban van, a generátor elektromos energiát termel, és azt az akkumulátorban tárolja. Így módon az UAV soros-párhuzamos hibrid energiaellátó rendszer mind a soros, mind a párhuzamos szerkezetek előnyeit élvezheti. Az üzemi állapot rugalmas beállítására való képessége lehetővé teszi az UAV számára, hogy alkalmazkodjon a bonyolult működési feltételekhez, és kifinomultabb energiagazdálkodási stratégiákkal dolgozzon. Ezért a soros-párhuzamos hibrid energiarendszer javíthatja az üzemanyag-felhasználás hatékonyságát, üzemanyagot takaríthat meg, és növelheti az UAV hatótávolságát [37].

A rendszer komplexitásából adódóan viszont nehézséget okozhat a lassú és kevésbé költség-hatékony karbantartás, illetve a vezérlés összetettsége.

4.4. Komplex hibrid meghajtás

A generátor és az elektromos motor jobb vezérlése érdekében a soros-párhuzamos hibrid szerkezet alapján egy komplex hibrid szerkezetet terveztek, amelynek felépítését a 7. ábra mutatja. A soros-párhuzamos hibrid meghajtásszerkezet alapján a komplex hibrid szerkezethez egy teljesítményelektronikai átalakítót adtak hozzá, hogy az elektromos motor és a generátor külön vezérelhető legyen. Így pontosabb rendszerirányítás és további üzemanyag-megtakarítás érhető el [37].

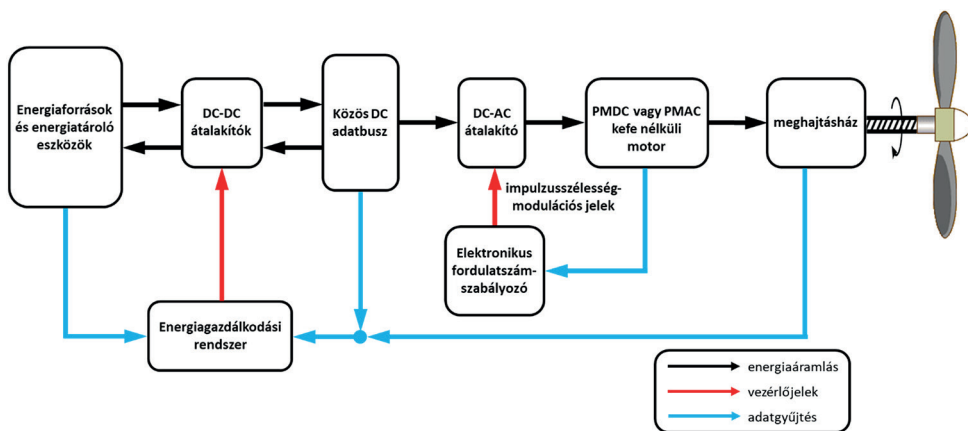


7. ábra
Komplex hibrid meghajtás (Békési Bertold [37] alapján)

5. Elektromos meghajtás

A már korábban bemutatott meghajtások kapcsán tárgyaltuk, hogy létezhet olyan architektúra is, amely tisztán elektromos energiát használ a tolóerő biztosítására. A fenti négy elrendezésben ez a fajta eljárás ugyan helyet kap, de önmagában nem képes akkora teljesítményt nyújtani, amely komolyabb célok elérése és a feladat végrehajtásának szempontjából elégséges lenne.

Ugyan folynak kísérletek és kutatások annak érdekében, hogy a közeljövőben kiemelt szerepet kaphassanak nemcsak civil, de ipari és katonai feladatok végrehajtásában is az ily módon meghajtott drónok, viszont az energiatároló eszközök alacsony energiasűrűsége a szükséges lépéseket még nem teszik lehetővé, kedvezőtlen arányt eredményez az eszköz tömege és a teljesítmény között. Az autóiiparban ugyan megjelentek forradalmi eljárások, és az egy töltéssel megtehető útnak a hossza jelentősen megnövekedett, a repülési idő ilyen szintű megnövelésére és hasonló rendszer integrálására még várni kell, ám a hibrid meghajtás használata már jelentős kezdeti siker, és bebizonyosodott, hogy alacsony repülési sebesség és magasság esetén az elektromos meghajtás (8. ábra) kielégítő megoldásnak bizonyul [13], [37].



8. ábra

Elektromos meghajtású UAV-meghajtórendszer (Békési Bertold [19], [37] alapján)

Mindezek mellett figyelembe kell venni azokat a válaszokat, amelyeket a rendszer adhat a különböző környezeti hatásokra [32]. A rendszer jellege miatt az elektromágneses jelenségek csökkenthetik a megbízhatóságot, a vezérlés hatékonyságát. Ugyan a felépítés és az eljárás lehetőséget adnak a tervezési sokoldalúságra az elosztott rendszernek köszönhetően, így növelve a kedvező aerodinamikai tulajdonságokat, mégsem építhető meg olyan struktúra, amely általában ellenállna a legtöbb erőhatásnak [37].

Ami a tervezés és a karbantartás költségeit illeti, ebben az esetben ezek igen magasak. Egy akkumulátor meglete önmagában nem elég, szükséges redundáns elemek beépítése is, illetve a teljesítmény és az üzemidő növelésével ezeknek a száma arányosan nő.

Ahogy az korábban látható volt a hibrid rendszerek esetében, az elektromos rendszer meglete elengedhetetlen, a költségek ellenére a karbantartása egyszerűbb, az energiaforrások

széles skálája pedig lehetővé teheti a későbbiekben, hogy igényeinknek megfelelően tetszőlegesen lehessen kialakítani a meghajtást.

6. Összefoglalás

A légi közlekedési ágazat jelentősen fejlődött a meghajtórendszer-technológia fejlesztésével, hogy a légi forgalom iránti keresletnövekedést és az üzemanyagárak ugrásszerű növekedését környezetvédelmi és gazdasági szempontból fenntartható módon kezelje. A légi közlekedési ágazat még nem érte el teljes növekedési potenciálját és piaci hatókörét – az Airbus és a Boeing előrejelzése szerint évi 4,8%-os növekedést várnak. A célok legfontosabb szempontjai az ágazatot energiahatékonyabbá, megbízhatóbbá tenni, valamint az emissziós és zajhatásokat csökkenteni. A kitűzött célok elérése érdekében számos technológiai lehetőséget vizsgálnak a repülőgépváz és a szerkezeti kialakítás, a meghajtási rendszer és a légiforgalmi irányítási rendszer fejlesztésére. Úgy vélik azonban, hogy a hagyományos technológia evolúciós fejlesztésével önmagukban nem érnék el az ilyen célokat. A kutatások és a környezeti hatások kezelése érdekében a gondolkodás a felé igazodik, hogy több elektromos energiát használjanak a meghajtórendszerben. A meghajtórendszer villamosítása ígéretes utakat kínál a működés energiahatékonyabbá, kevésbé szennyezővé és csendesebbé tételéhez [29].

Az elektromos energiaforrásokkal való kiegészítés lehetőséget ad a hajtóművek teljesítményének optimalizálására, amely egyébként a hagyományos kialakításban korlátozott. Az elektromos technológia számos egyedi tulajdonsággal is rendelkezik, amelyeket ki lehet használni az olyan újszerű meghajtási koncepciókból származó előnyök kihasználására, mint a hibrid-elektromos, elektromos meghajtású repülőgépek, az elosztott meghajtás (DP¹⁰), a határréteg-beviteli (BLI¹¹) meghajtási koncepció, magas hőmérsékletű szupravezetők (HTS¹²) alkalmazása, a differenciál tolóerő-szabályozás és számos más fejlesztések [12], [29].

A tanulmány célja az volt, hogy röviden összefoglalja a tervezés korai szakaszában azt a három fő meghajtási irányt, amelyek a kívánt célok meghatározása után alapjául szolgálhatnak egy pilóta nélküli repülőeszköznek. Összevetve ezeket elmondható, hogy napjaink kihívásaira a legideálisabb megoldást egy olyan hibrid rendszer adhatja, amely hidat képez a repülés korai szakasza és a jövő potenciális megpróbáltatásai között. Láthattuk, hogy egy jól bevált alkalmazási forma a jelen kor követelményeinek már nem tud teljes egészében eleget tenni, még akkor sem, ha a hatásfoka a leginkább kedvező, de továbbra is olyan tulajdonságai vannak, amelyeket nem lehet egy lépésben kiváltani. Éppen ezért szükséges apránként beépíteni az új elemeket, és alkalmazni azokat mindaddig, amíg az újabb kutatások megoldást kínálhatnak a még fennálló akadályokra, és lehetővé teszik számunkra, hogy környezet tudatosabban és gazdaságosabban tudjuk üzemeltetni a gyártást és az eszközeinket.

¹⁰ DP – Distributed Propulsion: elosztott meghajtás.

¹¹ BLI – Boundary-Layer Ingestion: határréteg bevitel. A repülőgépek hatékonysága javításának egyik módja az, hogy csökkentjük a repülőgép saját hajtóműveinek használatát. A NASA Clevelandi Glenn Kutatóközpontjának mérnökei egy újfajta meghajtórendszert tesztelnek a határréteg bevitel elnevezésű elv alapján. Elemző tanulmányok kimutatták, hogy ez az új technológia potenciálisan akár 8,5%-kal is csökkentheti a repülőgép tüzelőanyag-elégetését a napjainkban használt repülőgépekhez képest [12]. A határréteg-beviteli (BLI) meghajtási koncepcióval a [20] irodalom foglalkozik részletesebben.

¹² HTS – High Temperature Superconducting: magas hőmérsékletű szupravezető.

Felhasznált irodalom

- [1] S. I. Abdelmaksoud, M. Mailah, A. M. Abdallah, „Control Strategies and Novel Techniques for Autonomous Rotorcraft Unmanned Aerial Vehicles: A Review,” *IEEE Access*, 8. évf. pp. 195142–195169. 2020. Online: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3031326>
- [2] V. Alulema et al., „Propulsion Sizing Correlations for Electrical and Fuel Powered Unmanned Aerial Vehicles,” *Aerospace*, 2021, 8. évf. 7. sz. p. 171. Online: <https://doi.org/10.3390/aerospace8070171>
- [3] B. Békési, P. Koronváry, Are drones a boon or bane? *Scientific Research and Education in the Air Force – AFASES*, 19. évf. 1. sz. pp. 55–64. 2017. Online: <https://doi.org/10.19062/2247-3173.2017.19.1.5>
- [4] Békési B., Juhász M., „Pilóta nélküli légi járművek energia forrásai,” *Economica*, 7. évf. 1. sz. pp. 92–100. 2014. Online: <https://doi.org/10.47282/ECONOMICA/2014/7/1/4311>
- [5] Békési B., Major G., A drónok konfigurációi, alkalmazási területei. in *Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2022: Konferenciakiadvány*. Nyíregyházi Egyetem Páy G. szerk., Nyíregyháza, Nyíregyházi Egyetem, 2022. pp. 301–307.
- [6] Békési B., Seres J., „Drónok alkalmazásának lehetőségei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 3. sz. pp. 5–19. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.1>
- [7] Békési B., Szegedi P., „Pilóta nélküli légi járművek – biztonság vagy fenyegetés,” in *XV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia*. Mesterházy B. szerk., Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2016. pp. 130–141.
- [8] Békési B., „Pilóta nélküli légi jármű típusok sárkányszerkezeti megoldásai,” in *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban*, Pokorádi L. szerk., Debrecen, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013. pp. 122–132.
- [9] Békési B., „Pilóta nélküli légi járművek jellemzése, osztályozásuk,” in *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*, Palik M. szerk., Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. pp. 65–109.
- [10] Békési B., *UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai*. Szolnoki Tudományos Közlemények 15., pp. 1–11. 2011.
- [11] Békési L., Békési B., Merevszárnyú pilóta nélküli légi járművek (UAV-k). *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 17., pp. 7–34. 2013.
- [12] Békési B., Sári, J., „A kriogenika felhasználhatósága a modern repülésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 137–156. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.11>
- [13] C. Yang et al., „Energy management of hybrid electric propulsion system: Recent progress and a flying car perspective under three-dimensional transportation networks,” *Green Energy and Intelligent Transportation*, 2. évf. 1. sz. p. 100061. 2023. Online: <https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100061>
- [14] Csóré A., Major G., „A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 171–191. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.13>
- [15] Békési B. et al., *Pilóta nélküli légi járművek: kategorizálás, fedélzeti hardver besorolás*. Kutatási jelentés, Szolnok, 2012.
- [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, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2022. pp. 101–120. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/static/pdfjs/web/viewer.html?file = https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/>

- bitstream/handle/20.500.12944/18470/06_Gajdacz_Laszlo-Major_Gabor_101-120.pdf?sequence = 1&isAllowed = y
- [17] Hegedűs K., „A pilóta nélküli légi járművek hajtóműrendszerei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 28. évf. 1. sz. pp. 109–122. 2016. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4444>
- [18] D. Jimenez et al., „Evaluation of Series and Parallel Hybrid Propulsion Systems for UAVs Implementing Distributed Propulsion Architectures,” *Aerospace*, 9. évf. 2. sz. p. 63. 2022. Online: <https://doi.org/10.3390/aerospace9020063>
- [19] D. Joshi, D. Deb, S. M. Muyeen, „Comprehensive Review on Electric Propulsion System of Unmanned Aerial Vehicles,” *Frontiers Energy Research*, 10. évf. 752012. sz. 2022. Online: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.752012>
- [20] K. Kafantaris, *Boundary Layer Ingestion Propulsion*. National Aeronautics and Space Administration Glenn Research Center, 2019. Online: www1.grc.nasa.gov/aeronautics/bli/
- [21] O. Kose, T. Oktay, „Simultaneous quadrotor autopilot system and collective morphing system design,” *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92. évf. 7. sz. pp. 1093–1100. 2020. Online: <https://doi.org/10.1108/AEAT-01-2020-0026>
- [22] Major G., Etikus-e a drónok használata? *Honvédségi Szemle*, 144. évf. 2. sz. pp. 100–106. 2016. Online: <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/799/789>
- [23] Major G., „A pilóta nélküli légi jármű rendszerek használata az elektronikai hadviselésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 301–315. 2017. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-22-0490_Major_Gabor.pdf
- [24] M. Fioriti et al., „Design of hybrid electric heavy fuel MALE ISR UAV enabling technologies for military operations,” *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92. évf. 5. sz. pp. 745–755. 2020. Online: <https://doi.org/10.1108/AEAT-05-2019-0109>
- [25] R. Mikalsen, A. P. Roskilly, „A review of free-piston engine history and applications,” *Applied Thermal Engineering*, 27. évf. 14–15. sz. pp. 2339–2352. 2007. Online: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.03.015>
- [26] 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*, Pozsgai A., Puskás J. szerk., Szombathely, ELTE Savaria Egyetemi Központ, 2020. pp. 23–33.
- [27] 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. p. 500. 2022. Online: <https://doi.org/10.3390/aerospace9090500>
- [28] A. Rango, et al., „Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management,” *Journal of Applied Remote Sensing*, 3. évf. 1. sz. p. 033542. 2009. Online: <https://doi.org/10.1117/1.3216822> DOI: <https://doi.org/10.1117/1.3216822>
- [29] S. Sahoo, X. Zhao, K. Kyprianidis, „A Review of Concepts, Benefits, and Challenges for Future Electrical Propulsion-Based Aircraft,” *Aerospace*, 7. évf. 4. sz. p. 44. 2020. Online: <https://doi.org/10.3390/aerospace7040044>

- [30] Sánta I., *Repülőgép-hajtóművek I. (Gázturbinás hajtóművek)*. Előadásvázlat, Budapest, 2009. Online: www.vrht.bme.hu/letoltes/Tanszeki_letoltheto_anyagok/Tantargyak_anyagai/Repulogep_hajtomuvek_elm_I_BSc/HMU1_10506.pdf
- [31] Sári, J., et al., „A mesterséges intelligencia alkalmazhatósága a modern kori repülésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 5–18. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.1>
- [32] A.W. Schäfer et al., „Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft,” *Nature Energy*, 4. évf. 2. sz. 2019. pp. 160–166. Online: <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0294-x>
- [33] H. Shakhatreh et al., „Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges,” *IEEE Access*, 7. évf. pp. 48572–48634. 2019. Online: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>
- [34] S. Kalantzakos, *Kína és a ritkaföldfémek geopolitikája*. Pallas Athéné Könyvkiadó Kft., 2019.
- [35] M. Stewart, S. Martin, *Unmanned Aerial Vehicles: Fundamentals, Components, Mechanics, and Regulations*. Hauppauge, NY, Nova Science, 2020. Online: <https://novapublishers.com/wp-content/uploads/2020/10/Unmanned-Aerial-Vehicles.pdf>
- [36] Varga B., *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2013. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/static/pdfjs/web/viewer.html?file=https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/12292/Varga%20B%c3%a9la%20%c3%a9rtkez%c3%a9s.pdf?sequence=14&isAllowed=y>
- [37] B. Zhang et al., Overview of Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicles. *Energies*, 15. évf. 2. sz. p. 455. 2022. Online: <https://doi.org/10.3390/en15020455>
- [38] X. Zhang, „Distributed electric propulsion technology oriented to 2030,” in *Proceedings of the 2nd China Aviation Science and Technology Conference*, Beijing, 2015. pp. 330–334.

Possible Drone Structures by Propulsion

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have emerged as critical platforms in various fields, including surveillance, reconnaissance, logistics and aerial photography. Propulsion systems play a crucial role in enabling UAVs to operate efficiently and reliably. The selection of the ideal propulsion system depends on a number of factors, such as mission requirements, flight duration, payload capacity and environment/environmental considerations. While internal combustion engines have dominated in the past, electric and hybrid systems are gaining ground due to their favourable characteristics. The continuous development of propulsion technology is promising and could enable the future production of more powerful, efficient and environmentally friendly UAVs. This summary provides an overview of the different propulsion systems used in UAVs, highlighting their main features, advantages and challenges.

Keywords: UAV, propulsion, hybrid, configuration, architecture, structure

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

Knapiczius Attila
BSc-hallgató
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék

attila01.k@gmail.com
orcid.org/0009-0001-4317-1120

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

Bertold Békési, PhD
Lieutenant Colonel, Associate Professor
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

Attila Knapiczius
BSc Student
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

László Gajdács, MSc
Captain, Assistant Lecturer
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

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.



Tartalom

PAULOV ATTILA: Az Operation Unified Protector a máltai légi navigációs szolgáltató szemszögéből	5
SZILÁGYI DÁVID, SZIROCZÁK DÁVID, FENDRIK ÁRMIN: Merevszárnyú drónok üzleti alkalmazásai Magyarországon	19
SIMON SÁNDOR: Pilóta nélküli légi járművek (típus) megfelelőségértékelésének és a légi járművek folyamatos légi alkalmassága fenntartásának hatása a légi közlekedés biztonságára	35
RIPSZÁM DÓRA: A magánszféra védelme a pilóta nélküli légi jármű alkalmazása során	49
SCHUSTER GYÖRGY: A fejlesztésben használt szoftvermodellek alkalmazása és minősítése	59
SCHUSTER GYÖRGY: Idősorok alkalmazása szoftvermegbízhatóság előrejelzésére	71
TERPECZ GÁBOR: eVTOL légi járművek biztonsága	81
SÁNDOR ZSOLT, PUSZTAI MÁTÉ: A polgári pilóta nélküli légi járművek EU-s és hazai képzési rendszere	101
KISS BEATRIX, PALIK MÁTYÁS: A drónok katonai alkalmazása modern katonai műveletek során	115
DIKÁ CZ CSABA: Bombák Berlinre, 1940. június 7–8.	131
ANTAL PÉTER, PÉNI TAMÁS, TÓTH ROLAND: Autonóm kvadkopterek modellezése, identifikációja és geometriai szabályozása agilis manőverezéshez	141
HORVÁTH GÁBOR: A helyszíntől független katonai repülőtéri irányítás optikai rendszerének javasolt verifikációs kerete	161
DINH-DUNG NGUYEN, UTKU KALE, MUHAMMED SAFA BAŞ, MUNEVVER UGUR, TAHIR HIKMET KARAKOC, DÁNIEL ROHÁCS: Fundamental Elements of Drone Management Systems in Air Traffic Planning	169
VARGA BÉLA, KAVAS LÁSZLÓ, TÓTH JÓZSEF, ÓVÁRI GYULA: Kriogén hajtóanyagok a polgári repülés területén	185
VARGA PÉTER JÁNOS, BAROSS MÁRK TAMÁS, WÜHRL TIBOR: SDR mint lehetséges drónzavaró eszköz	199
SZILVÁSSY LÁSZLÓ: H-47M2 „Kindzsál” repülőfedélzeti hiperszonikus rakéta	211
CSATÓ PÉTER: A szintetikus tüzelőanyagok alkalmazásának kérdései a repülésben	237
BÉKÉSI BERTOLD, GAJDÁCS LÁSZLÓ, KNAPICZIUS ATTILA: Drónok meghajtás szerinti lehetséges szerkezeti felépítései	257