

HELYBŐL FELSZÁLLÓ PÍLÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP TERVEZÉSE[®]

DESIGN STEPS OF VTOL UNMANNED AERIAL VEHICLE

ÁRVAI László

Tudományos munkatárs
BAY-IKTI, Egészségügyi és Vállalati Információs Rendszerek Osztály
3519 Miskolc, Iglói út 2.
laszlo.arvai@gmail.com

Kivonat: Napjainkban már számos pilóta nélküli repülőeszköz áll rendszerben, ám ezek általában hagyományosan fel- és leszálló merevszárnyas, vagy esetleg forgószárnyas konstrukciók. Noha ezek számos feladat ellátására alkalmasak, mégis bizonyos esetekben problémát okozhat a hagyományos felszállás estén a kifutópálya szükségessége és a függeszkedési képesség hiánya. Helikopterszerű felépítés esetén pedig gyakran kell szembesülnünk a rövidebb hatótávolsággal és repülési idővel. Ezért célszerűnek látszik egy olyan pilóta nélküli repülőgép kifejlesztése, amely egyesíteni tudja a merevszárnyas repülőgépek kedvező repülési paramétereit a forgószárnyasok függőleges fel- és leszállási képességével. Egy ilyen repülőgép repülésvezérlő elektronikája azonban eléggé összetett, hiszen egymástól teljesen különböző repülési módokban is képesnek kell lennie a repülőgép stabilizálására, irányítására. Ezért célszerű a fejlesztést, tesztelést, hangolást egy egyszerűsített, de repülésképes modellen elvégezni. Az ezzel kapcsolatos konfigurációs lépéseket foglalja össze ez a cikk.

Kulcsszavak: pilóta nélküli repülőgép, helyből felszálló, repülőgép tervezés

Abstract: Nowadays there are several Unmanned Aerial Vehicle is in use. Most of them however are conventional or rotary wing type. They can be successfully applied for several tasks but sometimes the necessity of the runway for conventional take-off and landing or lack of hovering capability means significant disadvantage. For rotary wings the limited flight parameters might cause similar problems. Therefore the combination of the good flight parameters and vertical take-off and landing capability would be advantageous. Developing of the on-board flight control of such an airplane is a very complex task therefore the first stage of planning and development must be done on a simplified aircraft model. This article explains the configuration procedure of this simplified model aircraft.

Keyword: Unmanned Aerial Vehicle, UAV, Vertical take-off and landing, VTOL

1. BEVEZETÉS

A következőben ismertetett fejlesztési munka célja egy olyan sárkányszerkezet és hajtóműrendszer konfigurálása, mely alkalmas platformot nyújt egy helyből felszálló, pilóta nélküli repülőgép repülésvezérlő rendszerének a tesztelésére. Természetesen eredményképpen nem egy valódi működő pilóta nélküli repülőgép készül el, hiszen ez olyan komoly anyagi, eszköz és munkaidő jellegű erőforrásokat venne igénybe, melyek nem állnak rendelkezésre.

Azonban a szűkös erőforrások felhasználásával is megtervezhető, megépíthető és a megfelelő hajtóművekkel ellátható egy olyan repülőgép, amely a repülésvezérlő rendszer szempontjából rendelkezik minden olyan tulajdonsággal és megoldandó problémával, amivel egy hasonló, de valódi merevszárnyas helyből felszálló pilóta nélküli repülőgép rendelkezik.

További tervezési célkitűzés a biztonságos üzemeltethetőség, kis méret, egyszerű felépítés, megbízható működés, könnyű szállíthatóság. Más – egyébként fontos – tervezési paraméter, mint például a hasznos teher nagysága, repülési paraméterek (csúcsmagasság, sebesség, hatótávolság,

[®] Szaklektorált cikk. Leadva: 2012. november 30., Elfogadva: 2013. február 13.

Reviewed paper. Submitted: 30. November 2012. Accepted: 13. February 2013.

Lektorálta: prof.dr. SZABOLCSI Róbert / Reviewed by prof.dr. Róbert SZABOLCSI

repülési idő) jelen esetben nem játszanak kiemelt szerepet, mivel a repülésvezérlő elektronika tervezése és tesztelése szempontjából ezek másodlagos jelentőséggel bírnak.

Egy helyből felszálló pilótanélküli repülőgép alkalmazási lehetőségeit foglalja össze az [1] irodalom. Multirotoros légi járművek kutatóhelyének létesítését, a szakmai műhely alapításának motivációját a [2, 3] irodalmak mutatják be. A pilóta nélküli repülőgépek alkalmazási kérdéseivel, a pilóta nélküli légi járművekkel szemben támasztott felhasználói követelményekkel a [4, 5] irodalmak foglalkoznak. Multirotoros (quadrotor) légi jármű repülési magasságstabilizáló rendszer LQ-alapú, optimális tervezését a [6] cikk foglalja össze, és a feladat megoldására a szerző új súlyozást alkalmaz. A légi járművek térbeli mozgásának repülésdinamikai modelljeit Szabolcsi foglalta össze a [7] könyvében, míg a [8] irodalomban a szerző gyakorlati alkalmazásokat mutat be az automatikus repülésszabályozás területéről.

2. ALKALMAZÁSI KÖVETELMÉNYEK

Egy repülőeszköz tervezésének első lépése az alkalmazás, felhasználás és az alapvető repülési paraméterek meghatározása. Jelen esetben ez nem túl bonyolult, hiszen nincs különösebb elvárásunk a repülőgéppel kapcsolatban, „csak” egy platformot kell biztosítani a repülésvezérlő elektronika fejlesztése és tesztelése számára. Azért, hogy meg lehessen határozni a szükséges repülési paramétereket érdemes mégis valamilyen felhasználási célt meghatározni. Ez jelen esetben elő kamerakép közvetítését jelenti. A hasznos terhelés tehát egy vezeték nélküli kamera (1. ábra). Ebből következően a szükséges repülési paramétereket úgy kell megválasztani, hogy az ilyen jellegű alkalmazást támogassák, vagyis elsősorban kis sebességű nem manőverező repülésre kell optimalizálni a repülőeszközt.



1. ábra Fedélzeti kamera (bal oldali kép) és a vevő egység (jobb oldali kép)

3. FÜGGŐLEGES FEL- ÉS LESZÁLLÁS

A legfontosabb tervezési elvárás, hogy a megalkotandó repülőgépnek képesnek kell lennie függőlegesen fel- és leszállni, illetve egy helyben lebegni. Olyan konfiguráció, amely képes erre, számtalan van [9].

Ezek közül különösen népszerűek a forgószárnyas típusok (pl. helikopter, quadrotor), közülük több is eljutott már a rendszerbeállításig.

Azonban tervezési kritérium a biztonságos üzemeltetés. Ez pilóta nélküli helikopter esetén nehezen teljesíthető, mivel a rotorkör az eszköz viszonylagos kis méretei (magassága) miatt nem helyezhető el úgy, hogy a földi személyzet biztonságban legyen. A biztonságos üzemeltetés így csak pótlólagosan, rendszabályok segítségével biztosítható, az eszköz megfelelő megtervezésével nem.

A biztonságos üzemeltetéssel kapcsolatos elvárás az is, hogy egy esetleges hajtóműleállás ne vezessen elkerülhetetlenül géptöréshez. Ez helikopterek esetén még teljesíthető lenne (autorotáció) azonban ehhez szükséges a rotorlapátok kollektív beállítási szögének vezérelhetősége, amely lehetőség multirotornál általában nem áll rendelkezésre és a megoldása is valószínűleg több hátránnyal járna (súly), mint amennyi előny származik belőle.

Bár a repülési paraméterek nem játszanak elsődleges szerepet a tervezésnél, mégsem hagyható figyelmen kívül, hogy általában a forgószárnyas repülőeszközök rosszabb hatékonyságúak abban az értelemben, hogy egységnyi hasznos teher csak nagyobb energiafelhasználás árán emelhető levegőbe, mint a merevszárnyas repülőeszközök esetén.

Összességében megállapítható, hogy a helikopterszerű felépítés túl sok kompromisszummal jár, ezért más utat kell választani.

Eredendően képesek helyből felszállásra a levegőnél könnyebb repülő szerkezetek. Bár sok előnyös tulajdonságuk van (hosszú repülési idő, szinte korlátlan lebegési képesség) alkalmazásukkor azonban számolni kell az időjárástól (elsősorban szél) függőségükkel, alacsony sebességükkel, nagy méretükkel (sebezhetőség). Mivel az előzőekben felsoroltak optimális kialakítása tervezési kritérium, ezért a levegőnél könnyebb légi jármű sem a megfelelő választás.

Ha a kísérleti stádiumban levő repülőeszközöktől (csapkodó szárnyú, fan-wing, stb.) eltekintünk, akkor megállapítható, hogy a megtervezendő repülőeszköznek merevszárnyúnak kell lennie.

Az első tervezési paraméter tehát, hogy a megtervezendő repülőgép merevszárnyú lesz, vagyis vízszintes repüléskor a törzshöz mereven rögzített szárnyak állítják elő a felhajtóerőt.

Ez esetben természetesen szükség van nem csak a vonó (vagy toló) menethajtóművekre, hanem emelőhajtóművekre is.

4. HAJTÓMŰVEK, ENERGIARENDSZER

Merevszárnyú repülőeszköz esetén, függőleges fel- és leszállás üzemmódban – mivel a szárny körül nincs jelentős levegőáramlás, ezért felhajtóerő termelés sem – szükség van emelőerőt előállító hajtóművekre.

Ezek lehetnek külön erre a célra beépített hajtóművek. Mivel ezek a hajtóművek csak a repülés viszonylag rövid szakaszában üzemelnek, egyébként csak holt terhet jelentenek, ezért célszerű elhagyni őket és más módon előállítani az emelőerőt.

A másik megoldás, hogy a menethajtómű által előállított toló- vagy vonóerő iránya változtatható, akár a hajtómű valamilyen szerkezeti kiegészítésével vagy akár a teljes hajtómű elfordításával. Mivel az alacsony költség és az egyszerű felépítés fontos tervezési szempont ezért az általam tervezett légi járműben, ezért hajtómű elfordítással áll elő a függőleges fel- és leszálláshoz képességéhez szükséges emelőerő.

A tényleges hajtómű kiválasztását számos szempont alapján lehet (kell) elvégezni. Azonban a döntés nemcsak a repülési paraméterekre van jelentős hatással, hanem a konstrukciós költségekre is, amelyek jelen esetben komolyan korlátozva vannak. Így sajnos nem használható fel például egy kisméretű gázturbina, mely a repülési paraméterek tekintetében feltehetőleg kiemelkedő képességeket (súly-tolóerő hányados, energiafogyasztás-tolóerő arány (hatásfok)) nyújtana, de az ára magasabb a projekt teljes tervezett költségvetésénél.

Mivel a biztonságos üzemeltetés az egyik kiemelt tervezési szempont, ezért a forgószárny mellett a légcsavar (mint szabadon, nagy kerületi sebességgel forgó alkatrész) használata is mellőzendő.

Így gyakorlatilag a felhajtóerő előállítására nem marad más megoldás, mint a csőventillátor alkalmazása. A csőventillátor több szempontból is ideális megoldás. Egyrészt teljesíti a biztonság iránti elvárásainkat, hiszen a forgó részt körülvevő burkolat védi mind a forgó lapátmozgást, mind a környezetében tartózkodókat. Ideális még az a tulajdonsága is, hogy ugyanakkora tolóerő kisebb átmérővel is elérhető, mint légcsavar esetén.

Természetesen vannak hátrányai is [10], a hajtóműből viszonylag nagy sebességgel áramlik ki a levegő, ez elsősorban a fel- és leszállás talaj közeli fázisaiban okozhat problémát, illetve az előállított tolóerőre vetítve fajlagosan nagyobb súlyú és energiafogyasztású mint egy légcsavar.

A csőlégcsavar meghajtásához használható belső égésű vagy elektromos motor is. Ez utóbbiak fajlagosan olcsóbbak, könnyebben vezérelhetők és üzemeltetésük, karbantartásuk is egyszerűbb. Ezért

bár repülési paraméterek tekintetében valószínűleg előnyösebb lenne belsőégésű motort használni, az egyéb tervezési kívánalmak alapján az elektromos motor az optimális választás. Ezek közül ma már leginkább a kefe nélküli motorok használatosak ilyen célokra, hiszen a kommutátor-szénkefe hiánya miatt mind az elektromos és mechanikai veszteségeik mind méretük és súlyuk kisebb, mint a kefes motoroké.

A meghajtáshoz szükséges villamos energiát legegyszerűbben akkumulátor segítségével nyerhetjük. Itt nyilván a minél nagyobb energiasűrűség a cél, ezért Lithium-Polymer (LiPo) vagy esetleg más, lithium technológiájú akkumulátor a megfelelő választás. Fontos paraméter még, hogy az akkumulátor maximális kisütőárama elegendő legyen a motor vagy motorok táplálására.

5. TERVEZÉSI SPECIFIKÁCIÓ

Ahhoz, hogy a tervezés folyamatában tovább tudjunk lépni, szükséges a tervezés alapparamétereinek rögzítése. Itt szerepelnek a már előzőekben ismertetett elvárások, megfontolások, illetve szükséges még rögzíteni az alapadatokat, melyek kiindulásként szolgálhatnak a további számításokhoz.

Paraméter típusa	Tervezési értéke
Alkalmazási információk	
Felhasználás	vizuális információszerzés (kamera)
Jellemző repülési mód	kis sebességű, nem manőverező
VTOL	igen
STOL	nem tervezett
Hagyományos fel- és leszállás	felszállás nem, leszállás csak vészhelyzetben
Üzemeltetési elvárások	biztonságos üzemeltethetőség, könnyű szállítás, kis méret, egyszerű üzembe helyezés
Hajtómű, energiaellátás	
Menethajtómű	csőventillátor
Emelőhajtómű	elfordítható menethajtómű
Meghajtás	elektromos (kefe nélküli motor)
Energiaforrás	LiPo akkumulátor
Fizikai adatok	
Szárny fesztávolság	1,5...2,0m
Törzshossz	1...1,5m
Maximális felszállósúly	<1650g
Hasznos terhelés	~150g
Repülési adatok	
Repülési idő (vízszintes repüléskor)	>30min
Repülési idő (függeszekedés)	>10min
Irányítás	teljesen automatizált, felügyelet nélküli fel- és leszállás, útvonalkövetés
Kommunikációs csatornák	
Telemetria, számítógépes kapcsolat	Rádió modem
Valós idejű video	Analóg videójeltovábbítás
Távírányítás (vészhelyzeti)	Modell távírányító

1. Táblázat Tervezési paraméterek

6. HAJTÓMŰ KONFIGURÁCIÓ

Alapjában véve tehát csőventillátor kerül alkalmazásra, mint kombinált menet- és emelőhajtómű. A számukat több tényező is befolyásolja. Egyrészt többszörözésükkel növelhető az előállított emelő- és tolóerő. Másrészt optimális elhelyezésük (illetve elhelyezhetőségük) is függ a számuktól.

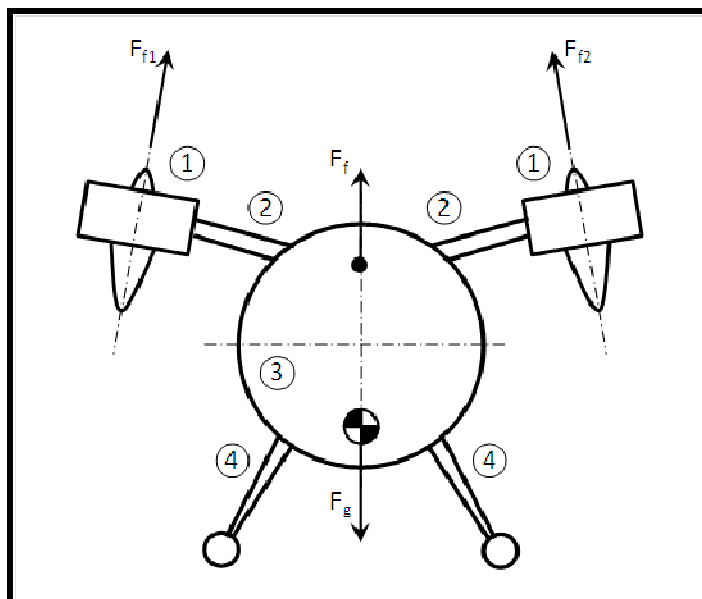
Ha csak egy hajtómű kerülne alkalmazásra, annak az elhelyezése gondot okozna, hiszen függőleges fel- és leszálláskor az emelőerő előállítására miatt, az optimális hely számára a súlypont lenne. Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy jelentős térfogatot foglal el a súlypont közelében, márpedig érdemes lenne az egyéb, egyébként súlyos részegységeket is oda elhelyezni.

Ha törekszünk az egyszerűségekre (ez esetben a minél kisebb hajtóműszámra) a két hajtóműves elrendezés az optimális megoldás (stabilitási, kormányozhatósági kérdésekkel egy későbbi fejezet foglalkozik). Ekkor a hajtóművek több helyen is rögzíthetők. Ha a repülőgép stabilitását tekintjük fontosnak, az ideális hely a szárnyvégeken van, hiszen így adják a legnagyobb nyomatékot a repülőgép hossz tengelyére, vagyis így tudnak a leghatékonyabban részt venni a repülőgép hossz tengelye körüli kormányzásban. Ennek azonban van egy jelentős hátránya. A felhajtóerő vízszintes repüléskor megoszló terhelésként jelentkezik a szárnyon. Ez azt eredményezi, hogy szilárdsági szempontból a legjobban igénybevett rész a szárnytő. Onnan a szárnyvég felé haladva egyre csökken az igénybevétel mértéke, így a szilárdsági érték is csökkenthető, csökkentve ezzel a szárny bonyolultságát és súlyát. Azonban ha az emelőhajtóművek a szárnyvégen vannak, a teljes felhajtóerő ott ébred, így a szárnyat erre a terhelésre kell szilárdságtanilag méretezni, ami robosztusabb, nehezebb felépítést eredményez.

Tervezési elvárás még a könnyű szállíthatóság is. Ez általában megköveteli, hogy a szárnyak feszítávolsága szállítás és tárolás közben csökkenthető legyen, akár azok összehajtásával, elfordításával vagy leszerelésével. Amennyiben a hajtóművek a szárnyvégeken vannak, ez egyúttal ezt is jelenti, hogy minden a hajtóműhöz kötött akár elektromos, akár mechanikus csatlakozást is úgy kell kialakítani, hogy ne akadályozza a szárny tárolási, szállítási pozícióját. Mivel ez aránytalanul megbonyolítja a szárny szerkezetét, ezért a hajtóművek elhelyezése nem célszerű sem a szárnyvégeken sem bármely más részén a szárnynak.

Az optimális elhelyezés tehát úgy valósítható meg, hogy a hajtóművek a törzs két oldalán, külön tartókonzolon kerülnek elhelyezésre, így mind a szárny mind a hajtómű elhelyezése egymástól függetlenül optimalizálható.

Az elhelyezés további optimalizálása érdekében érdemes a törzshöz képest minél magasabban elhelyezni őket. Az egyik előnye ennek a kialakításnak az, hogy ha az egész gép tömegközéppontját sikerül a törzs alsó felében, minél alacsonyabban elhelyezni, akkor egy magasra helyezett hajtómű – amely a felhajtóerő támadáspontját is magasra helyezi – olyan nyomatékokat eredményez melyet, a repülőgépet mind a hossz tengelye, mind a kereszt tengelye mentén stabilizálni igyekeznek. Ezt az elrendezést mutatja vázlatosan a 2. ábra.



2. ábra Hajtóművek elhelyezése

Az ábrán látható jelölések magyarázata: 1 – hajtóművek, 2 – hajtóműtartó konzol, 3 – géptörzs, 4 – csúszótalpak, F_{f1} , F_{f2} – hajtóművek által előállított emelő erő, F_f – eredő emelő erő, F_g – súlyerő.

A másik előnye még a magasan elhelyezett hajtóműnek, a kiáramló levegő és a talaj kölcsönhatásának (recirkuláció, párnahatás) csökkentése. Ez két dolgot jelent, egyrészt a levegősugár kevesebb port, törmeléket ver fel és kisebb a valószínűsége annak is, hogy ezek visszakerülnek a beömlőnyíláson át a hajtóműbe. Ezen kívül a magasra helyezett és kismértékben megdöntött hajtóművekkel (az ábrán eltűnően látható a döntési szög) csökkenthető a géptörzs és a szárnyak alá befújt levegőmennyiség. Ez ugyanis főleg a talajon álló vagy talaj közelében lebegő gép esetén jelenthet problémát mivel a törzs és a szárny alatt áramló levegőnek kisebb a nyomása, mint a környezeti levegőnek, ezért ez szívóerőt fejt ki a géptörzsrre és a szárnyra, ezzel is csökkentve az emelőerő hatását. Természetesen a konzolok mechanikai kialakítása olyan, hogy a hajtóművek említett döntése, csak a hajtóművek függőleges közeli helyzetében jön létre, vízszintes repüléskor a hajtóművek egymással és a repülőgép hossz tengelyével párhuzamosan állnak.

A hajtómű konfigurálás utolsó lépése a konkrét hajtómű és hozzá való energiaforrás kiválasztása. Hajtóműként tehát csőventillátor kerül alkalmazásra, melyet kefe nélküli elektromos motor hajt meg. Mivel a teljes felhajtóerőt két ilyen egység fogja előállítani ezért mindegyiknek a súlyerő felének, mint tolóerőnek az előállítására kell képesnek lennie (illetve egész pontosan ennél 10-20%-al többet, hogy képes legyen az eszköz függőlegesen gyorsulni is). Egy ilyen csőventillátor fontosabb adatait mutatja a

3. Táblázat. Ebből látható, hogy ez a csőventillátor 11N tolóerőt képes produkálni mindössze 141 grammos tömeg mellett.

Paraméter	Érték
Motor	Kefe nélküli, külső forgórészes
Motor kv érték	2836
Súly	141g
Belső átmérő	70mm
Külső átmérő	93mm
Tolóerő	11N (11,2V esetén)
Áramfelvétel	46A (11,2V esetén)

3. Táblázat Csőventillátor adatai

Itt jegyzendő meg, hogy az ideális megoldás az lenne, ha a két csőventillátor forgórésze ellentétes irányban forogna, hiszen így kiegyenlítenék egymás reakció nyomatékait. Sajnos azonban ellentétesen forgó csőventillátorok nem szerezhetők be olcsón és egyszerűen a kereskedelmi forgalomban ezért használatukról le kellett mondani.

Paraméter	Érték
Kapacitás	6000mAh
Feszültség	4 Cella, 14.8V
Kisütő áram	25C (Konstans), 50C (csúcs)
Tömeg	623
Méret [mm]	175x49x38

4. Táblázat Akkumulátor adatai

A motorok hajtásához szükséges villamos energiát LiPo akkumulátor szolgáltatja. Lehetőség szerint minél nagyobb kapacitású használta az indokolt, hiszen ezzel biztosítható a minél hosszabb repülési idő. Természetesen a jelenlegi technikával így sem érhető olyan repülési idő, mint belső égésű motorokkal, de jelen esetben az ilyen irányú követelmények sem túlságosan erősek, másrészt a merevszárnyas konstrukciónak köszönhetően vízszintes repüléskor jelentősen kisebb a motorok

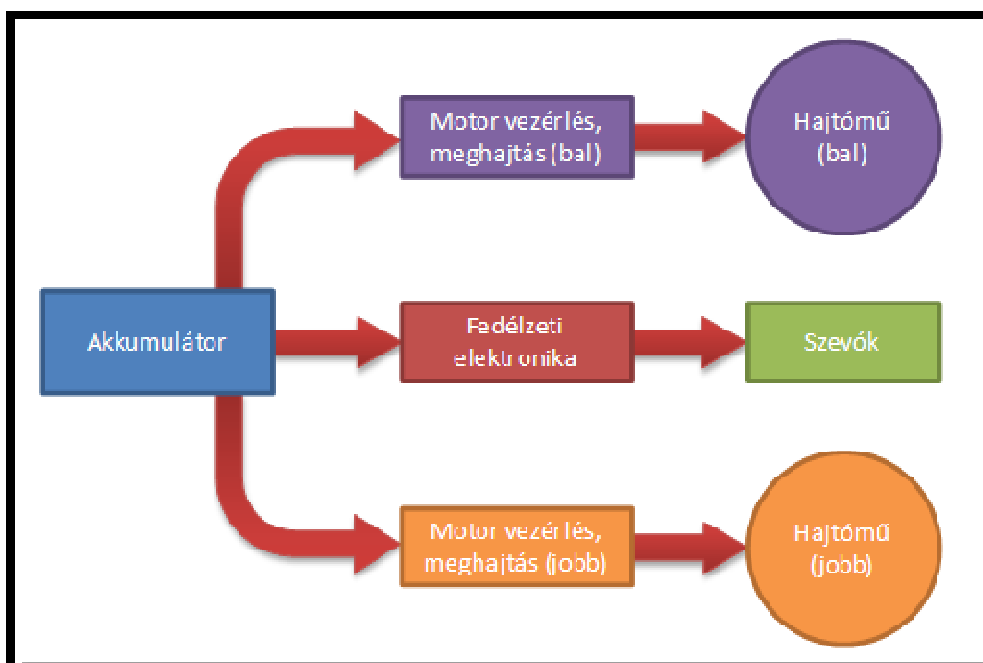
várható áramfelvétele. A kiválasztásnál ügyelni kell még arra is, hogy képes legyen a motorok által igényelt csúcsáramot is szolgáltatni. A kiválasztott akkumulátor fontosabb adatai a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** táblázat mutatja.

Ahogy ez várható volt az energiaforrás a teljes gép súlyának jelentős részét adja. És még ilyen arányok mellett is viszonylag szerénynek mondható repülési időre lehet számítani, különösen függeszkedéskor, amikor csak a hajtóművek termelik a felhajtóerőt. Másrészt e mód üzemideje sem növelhető egyszerűen, mert nem csak nagyobb akkumulátorra lenne szükség, hanem meg kellene oldani a nagyobb áramok (és elektromos veszteségek) által létrehozott hőmennyiség elvezetését a motorokból, vezetékekből és az elektronikus szabályzásból is.

Az előzőekben ismertetett alkatrészek (akkumulátor és hajtómű) fényképe látható a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábrán.



3. ábra EDF68 Csőventillátor¹, Turnigy 6000mAh Lipo akkumulátor²



4. ábra Energiarendszer

¹ http://www.greenairdesigns.eu.com/EU%202010/components/com_virtuemart/shop_image/product/EDF_68mm_480_4971c4c98dbca.jpg

² <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/N6000-2S-25-1.jpg>

A kiválasztott hajtómű és akkumulátor ismeretében megtervezhető repülőgép fő energiarendszere. Az energiaáramlást a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábra mutatja. Az energiaforráson és a motorokon kívül szükség van még a hajtást vezérlő elektronikára (motoronként egy). Ezen kívül az energiarendszernek része a fedélzeti elektronika mivel minden más fogyasztó és maga az elektronika is az akkumulátorról kapja az energiaellátást.

7. VÍZSZINTES REPÜLÉS

Vízszintes repüléskor a hajtóművek menethajtóműként működnek, feladatuk csak a vonóerő előállítása. A felhajtóerő előállításáért ebben a repülési módban a szárnyak a felelősek.

Amennyiben csak egy szárnyfelület felelős a teljes felhajtóerő előállításáért úgy célszerű azt a repülőgép súlypontja közelében elhelyezni, úgy hogy normál repüléskor a két erő egy síkba essen. Sajnos jelen konfigurációban a súlypont közelébe az emelőhajtóművek kerültek és ezek alá vagy fölé már nem tehető a szárny a nélkül, hogy lebegéskor a hajtóművekből kiáramló levegőáram ne találkozzon a szárnyal. Vagyis a szárnyak nem lehetnek a súlypont közelében, ezért más megoldásra van szükség.

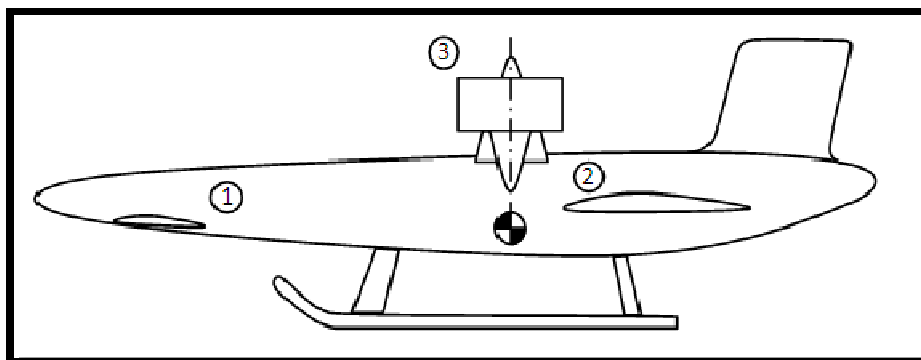
A felhajtóerő termelést meg kell osztani két szárnyfelület között, így az eredő felhajtóerő támadáspontjának helye viszonylag szabadon megválasztható a két szárny közötti egyenesen a felhajtóerő megosztás függvényében. Ez a fajta megosztás tulajdonképpen a „kacsa” elrendezés (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábra).

Az ilyen elrendezésnek számos előnye [11] és természetesen hátránya is van. Jelen esetben a legfontosabb tulajdonságok a következők:

- a szárnyon ébredő felhajtóerő támadáspontja a két szárnyfelület helyének megválasztásával, a hossz tengely mentén könnyen ugyan abba a pontba helyezhető, ahol az emelőhajtóművek által termelt felhajtóerő támadáspontja van
- ha a vízszintes vezérsík hamarabb esik át, mint a szárny, akkor az egész gép nagyon nehezen tud átesni

Vannak természetesen hátrányok is, talán a legfontosabb, hogy a szárny nem üzemeltethető a legnagyobb felhajtóerő tényezője (C_{lmax}) közelében, hiszen ehhez olyan állásszög szükséges, aminél már a vízszintes vezérsík átesik. Viszont az alkalmazásból következik, hogy általában nincs szükség olyan mértékű emelkedésre ahol a maximális felhajtóerő tényezőt ki kellene használni, hiszen a fel- és leszállás függőlegesen történik, egyéb repülési helyzetben pedig nincs szükség ilyen mértékű emelkedési sebességre.

Mivel fel- és leszálláshoz nem kell a szárnyak felhajtóerőt termelnie, ezért a szárny különösebb mechanizációja is szükségtelen. Ezért nincsenek sem ívelőlapok, sem fékszárnyak, sem áramlásterelők. Ez azért is fontos mert, ahogy már korábban említésre került ha a szárny egyszerű szerkezetű, akkor könnyedén állítható szállítási helyzetbe.



5. ábra Szárny elrendezés

1 – felhajtóerő termelő vízszintes vezérsík, 2 – szárnyfelület, 3 – hajtómű.

Probléma még, hogy nehéz úgy elhelyezni a szárnyakat, hogy a vezérsíkról leáramló levegő minél kisebb eséllyel találkozzon a szárnyal. Különösen, ha figyelembe vesszük azt is, hogy mindeközben hajtóművet is úgy kellene elhelyezni, hogy az abból kiáramló levegő se érje el a szárnyat. Ez tökéletesen nem valósítható meg, lesz olyan állásszög ahol a szárnyak és a hajtómű utáni áramlás interferálnak egymással. Ennek ellenére az optimális elhelyezés olyan, hogy a vezérsík a törzs alsó részén, a szárny a törzs középső részén a hajtóművek pedig a törzs felső részén kerülnek elhelyezésre, ahogy ez az **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábrán látható.

Természetesen a szárnyak konfigurációjának fontos eleme lenne még a szárnyprofil kiválasztása és fontosabb méretek meghatározása, ez azonban út mutat ezen cikk keretein.

8. KORMÁNYZÁS, STABILITÁS

Mivel egy függőlegesen fel- és leszálló repülőgépnél két aerodinamikai szempontból is egymástól lényegesen eltérő üzemmódja van (fel- és leszállás \leftrightarrow vízszintes repülés) ezért a stabilitás és kormányozhatóság kérdésével külön kell foglalkozni mind a két üzemmódban.

8.1. Vízszintes repülés

Vízszintes repüléskor a gép keresztengelye körüli stabilitást a vízszintes vezérsík és a szárny biztosítja. A kormányzás e tengely mentén a vezérsík kilépő éle mentén elhelyezett kormányfelületek segítségével lehetséges.

A hossz tengely menti stabilitást a szárny enyhe V állásszöge biztosítja. A kormányzás megoldható a szárnyon elhelyezett csűrőlapokkal. Mivel azonban ha szárny bonyolultságát szeretnénk minimális értéken tartani és a hajtóművek elfordíthatók, így vektoros kormányzás is kialakítható.

A függőleges tengely körüli stabilitást hagyományos függőleges vezérsík biztosítja, melynek kilépő élén található az oldalkormány. Megjegyzendő, hogy „kacsa” elrendezéseknél sokszor helyezik el a függőleges vezérsíkokat a szárnyak végén. Így azok megakadályozzák a törővégek körüli feláramlásokat (winglet) és távolabb helyezhetők el a gép súlypontjától, ami jelentős előny, hiszen a törzs szárny mögötti része kacsa elrendezésnél általában elég rövid. Jelen esetben azért nem használjuk ezt a megoldást, hogy a szárny minél egyszerűbb maradjon, így szállításhoz könnyen leszerelhető, vagy elfordítható legyen. Használható viszont vektoros kiegészítés, hiszen a hajtóművek által előállított vonóerő nagysága könnyen szabályozható, így ezek is részt vehetnek a függőleges tengely körüli kormányzásban.

8.2. Függőleges fel- és leszállás

Függőleges fel- és leszálláskor, mivel nincs a szárnyak körül jelentős levegőáramlás, ezért nem alakulnak ki a kormányzáshoz szükséges légerők, így ezeket az erőket más módon kell előállítani.

A hossz- és keresztengely körüli stabilitást elősegíti, hogy a felhajtóerő támadáspontja jóval magasabban van, mint a súlyerő (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábra), így ha a gép elfordul, a két erő nem esik egy egyenesre, vagyis nyomatékot fognak adni a hossz tengelyre mely igyekszik az eredeti helyzetbe visszaállítani a repülőgépet. A kormányzás vektorosan történik, a hossz tengely körül úgy fordítható el a repülőgép, hogy a motorok által előállított emelőerők közül az egyik oldali csökkentjük, míg a másik oldalit növeljük.

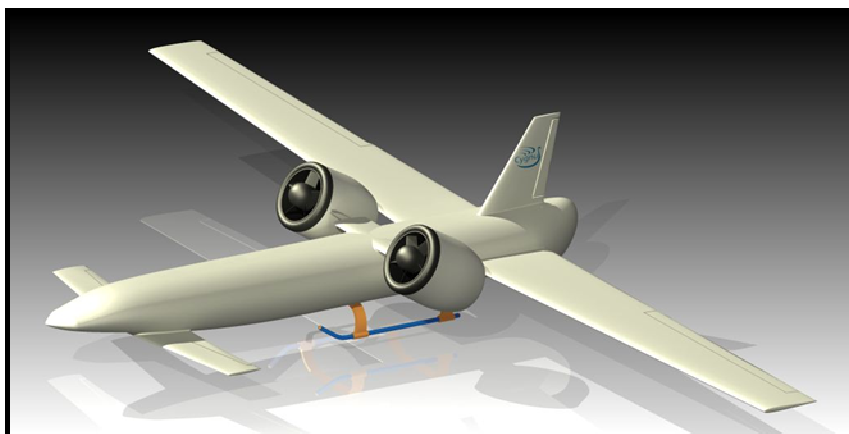
A keresztengely körüli stabilitás egy kicsit komplikáltabb. Egyik lehetséges megoldás, hogy a gép orr vagy farok részébe egy újabb csőventillátor kerül beépítésre, amely csak fel- és leszálláskor működik és biztosítja az elforgatáshoz szükséges megfelelő erőt, illetve nyomatékot. Ez a megoldás azonban holt terhet jelent vízszintes repüléskor ezért másként próbáljuk meg előállítani a szükséges erőt.

Mivel az akkumulátor adja a gép súlyának jelentős részét ezért annak hossz tengely menti mozgásával jelentős erők és nyomatékok alakíthatók ki. Ez a megoldás ráadásul „ingyen van” hiszen az akkumulátor, mint tömeg adva van, csak a mozgatásához szükséges mechanikát kell utólag beépíteni.

A függőleges tengely körüli kormányozhatóságot a két hajtómű differenciális elfordítása és tolóerő változtatása teszi lehetővé.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a cikk végigköveti egy repülésvezérlő elektronika tesztelésére alkalmas helyből felszálló pilóta nélküli repülőgép fejlesztésének első lépéseit, ami a tartalmi korlátok miatt gyakorlatilag csak a konfiguráció és a sárkányszerkezet bizonyos részeinek előzetes tervezését jelenti.



6. ábra A konfiguráció vázlata

Számos olyan konstrukciós problémát, kihívást, kompromisszumot és megoldást ismertet a cikk, amelyekkel szembesülhetünk egy valódi repülőgép tervezésekor is. A folyamat eredményeképpen előállt egy olyan koncepció mely megfelel az eredeti célkitűzéseknek, vagyis képes a repülésvezérlő elektronikát ugyanolyan kihívások elé állítani, mint egy valóságos helyből felszálló pilóta nélküli repülőgép.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ÁRVAI LÁSZLÓ:** "Helyből felszálló pilóta nélküli repülőgépek alkalmazási lehetőségei" Repüléstudományi közlemények, 2011. április 15.
- [2] **PROF. DR. SZABOLCSI RÓBERT:** Katonai robotok számítógéppel támogatott tervezése – QUADRO LAB szakmai műhely létesítése az új, nemzeti közszolgálati egyetemen, Multidiszciplináris Tudományok, HU ISSN 2062-9737, 1. kötet, 1. szám (2011), pp(31-42), Miskolci Egyetemi Kiadó, 2011.
- [3] **PROF. DR. SZABOLCSI RÓBERT:** Katonai robotok számítógéppel támogatott tervezése – QUADRO LAB szakmai műhely létesítése az új, nemzeti közszolgálati egyetemen, „Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban, 2011” tudományos konferencia kiadványa, 2011. május 18., ISBN 978-963-7064-25-8, pp(11-27), DAB Műszaki Szakbizottsága, Debrecen. http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/mtekmr_2011.pdf
- [4] **RÓBERT SZABOLCSI:** *Conceptual Design of the Unmanned Aerial Vehicle Systems for the Firefighter Applications*, CD-ROM Proceedings of the 12th International Conference „AFASES 2010”, ISBN 978-973-8415-76-8, p4, 27-29 May 2010, Brasov, Romania.
- [5] **RÓBERT SZABOLCSI:** *Conceptual Design of the Unmanned Aerial Vehicle Systems for the Police Applications*, CD-ROM Proceedings of the 12th International Conference „AFASES 2010”, ISBN 978-973-8415-76-8, p4, 27-29 May 2010, Brasov, Romania.
- [6] **RÓBERT SZABOLCSI:** *UAV Controller Synthesis Using LQ-Based Design Methods*, Proceedings of the 13th International Conference of “Scientific Research and Education in the Air Force”, “AFASES 2011”, ISSN 2247-3137, pp(1252-1256). 26-28 May 2011, Brasov, Romania. <http://www.afahc.ro/sesiune/sesiune.html>.

- [7] **PROF. DR. SZABOLCSI, RÓBERT:** *Modern automatikus repülésszabályozó rendszerek*, egyetemi tankönyv, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, ISBN 978-963-7060-32-8, 2011.
- [8] **PROF. DR. SZABOLCSI, RÓBERT:** *Korszerű szabályozási rendszerek számítógépes tervezése*, egyetemi tankönyv, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, ISBN 978-615-5057-26-7, 415 oldal, 2011.
- [9] **ÁRVAI LÁSZLÓ:** "Helyből felszálló pilóta nélküli repülőgép konstrukciók és jellegzetes megvalósításai" *Hadmérnök*, pp. 201-212, 2011. március
- [10] Ducted Fan (Letöltve: 2011. június 10.) http://en.wikipedia.org/wiki/Ducted_fan
- [11] Applied Aerodynamics: A Digital Textbook (Letöltve: 2011. június 7.) <http://www.desktop.aero/appliedaero/configuration/canardprocon.html>