

Hollandi Marcell, Kutrovác Lajos, Simon Sándor

## PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP GYÁRTÁSA

*A közelmúltban komoly fejlődésnek indult a pilóta nélküli légi járművek különböző célú felhasználása. Jelen közleményben bemutatásra kerül egy új fejlesztésű többcélú pilóta nélküli repülőgép. A cikk röviden ismerteti a repülőgép fontosabb jellemzőit, lehetséges felhasználási módjait, feladatköreit. Foglalkozunk a pilóta nélküli repülőgép gyártásában alkalmazott gyártási technológiák ismertetésével, a kifejlesztett pilóta nélküli repülőgép gyártásának tervezésével, a gyártandó darabszám függvényében alkalmazandó gyártási technológia kiválasztásával. A kompozit alkatrészek felépítése és a gyártásukhoz szükséges szerszámok tervezése is részletesen ismertetésre kerül. Foglalkozunk a repülőgép szerelésének tervezésével, ütemezésével és a gyártási költségek elemzésével.*

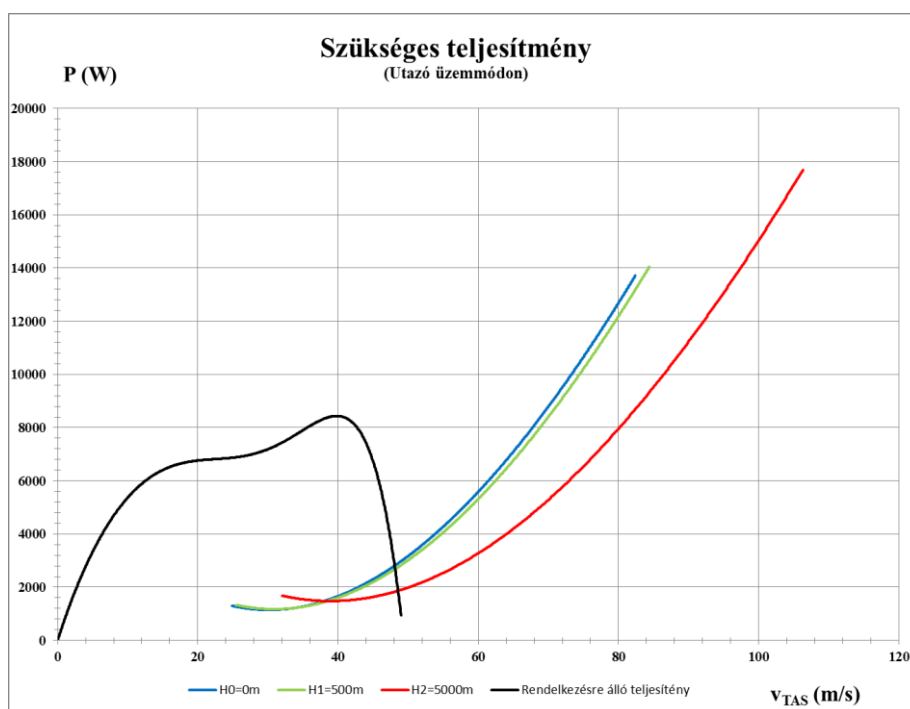
**Kulcsszavak:** Pilóta nélküli repülőgép, feladatkörök, kompozit, szerszámok, gyártás tervezés, költségelemzés,

### A TERVEZETT PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉP BEMUTATÁSA

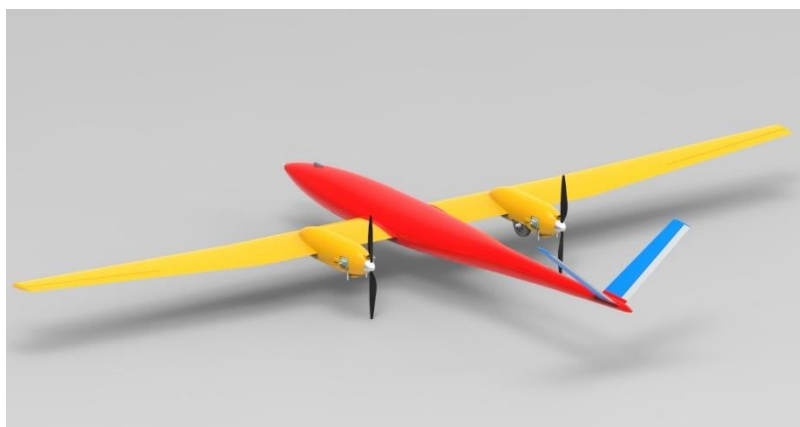
Napjainkban az élet elképzelhetetlen lenne repülés nélkül, megjelenésétől és fejlődésétől fogva csökkentek a távolságok, fellendítette a kereskedelmet, és döntő szerepe van a 20. és 21. század fegyveres konfliktusaiban. Kevesen tudják azonban, hogy a repülés hajnalától kezdve a légi járműveket nem csak emberek vezették, hanem úgynevezett robotpilóták is. Az utóbbiakat nevezük pilóta nélküli légi járműveknek, vagy ismertebb nevükön drónoknak. Bár csaknem egyidősek pilóta által vezetett légi járművekkel, igazán csak a 20. század második felében terjedtek el. Manapság pedig már mindenki tarthat ilyen eszközöket és repülhet vele akár a lakásában, otthonában is. A történelmük során bizonyították képességeiket, alkalmazhatóságukat és sokoldalúságukat. A századfordulóig csak a harctereken bizonyítottak, napjainkban viszont már a civil szférában is kezdenek elterjedni. Ebben a cikkben az utóbbi oldalt szeretnénk erősíteni, és megmutatni, hogyan könnyíthetik meg a mindennapi életet a pilóta nélküli légi járművek.

#### A tervezett repülőgép szerkezete

A bemutatásra kerülő HMX-16B-04 típusú repülőgép egy polgári többcélú pilóta nélküli légi jármű. A tervezés során több koncepció terv is készült, melyeket különböző szempontok alapján hasonlítottunk össze majd választottuk ki az többcélú felhasználhatóság szempontjából a legjobbat. A repülőgép repülési tulajdonságait aerodinamikai számításokkal ellenőriztük a koncepció tervezés, és a részletes kidolgozás szakaszában egyaránt. Az aerodinamikai számítások bemutatására jelen mű keretein belül nincs lehetőség, azokat az olvasó az [1] számú irodalomban láthatja részletesen kidolgozva. A repülőgép Penaud diagramja az 1. ábrán látható A tervezés során törekedtünk minél egyszerűbben gyártható szerkezetet tervezni. A repülőgép 3D modellje az 2. ábrán látható.



1. ábra A repülőgép szükséges teljesítmény diagramja



2. ábra HMX-16B-04

A repülőgép, kialakítását tekintve: hagyományos elrendezésű, úgynevezett pillangó vezérsíkos középszárnyas, dugattyús toló motoros, orr futóműves szerkezet. Jellegzetessége a törzsben kialakított raktér, nyitható kamra ajtókkal. A raktérben a feladatnak megfelelő hasznos teher helyezhető el. A szállítható hasznos teher tömege teljesen feltöltött repülőgép esetén 20–25 kg.

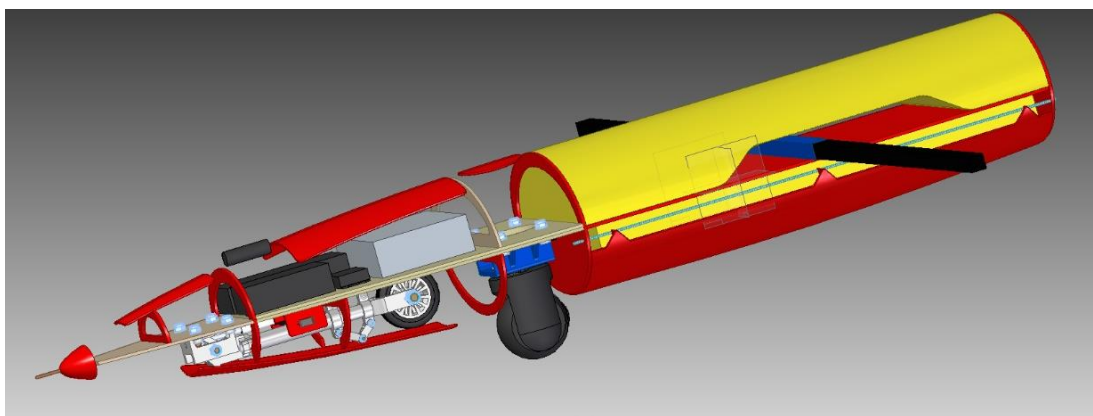
A repülőgép a következő feladatkörökben alkalmazható:

- térképészet;
- mezőgazdaság (vadkárók felmérése, termés vizsgálata, vetőmag bombázás);
- erdészet, mezőőrség;
- ipari vezetékek felügyelete;
- eltűnt személy felkutatása;
- csomag szállítás.

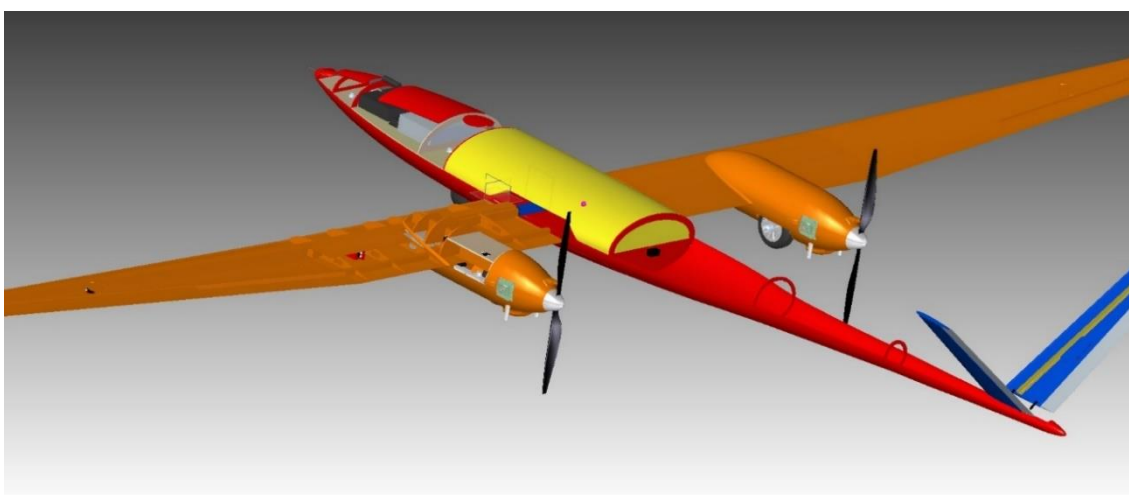
Hasznos teherként a raktérbe egy póttartály is behelyezhető, ezzel megduplázható a repülőgép hatótávolsága. A felszereltségét tekintve a repülőgép fedélzetén két kamera található. Az egyik

egy mereven előre néző csőkamera, ezt a pilóta használja amennyiben pilóta vezeti a légi járművet. A másik pedig a törzs alsó részén rögzített gimbal kamera, ezt az operátor használja a feladat függvényében. Az általunk tervezett légi jármű képes az önálló repülésre, de a satcom modul segítségével a pilóta bármikor átveheti felette az irányítást.

A repülőgép kompozit héjszerkezet felépítésű. A következő fő részegységekből épül fel: törzs, szárny és vezérsíkok. A törzs elején található rekesz egy opcionálisan használható súlykamra, az elülső részben a súlykamra mellett található az akkumulátor, robotpilóta, satcom modul és a futómű vezérlő elektronika. A két előbb említett rekesz alatt található az orr futómű kamrája. A következő rekeszben található az üzemanyagtartály és ez alatt elválasztva a raktér. A törzs bordákkal merevített, amik az elektronikai berendezéseknél és az orr futómű bekötésénél sűrűbben helyezkednek el. A szárnyon találhatóak a hajtómű gondolák, melyekben a hajtómű bekötések mellett a fő futóművek is találhatóak. A fő futóművek a motorgondolába húzhatóak be. A szárny középső egyenes része bordákkal merevített, a bordák a hajtóműgondolák alatt a futómű bekötéseknél sűrűbben helyezkednek el. A szárnyon található a csűrőlap, amely ívelőlapként is funkcionál, valamint a féklap. A vezérsíkon található a magassági/oldalkormány. A repülőgép belső szerkezeti felépítése látható a 3. és 4. ábrákon.



3. ábra A törzs szerkezete



4. ábra A repülőgép szerkezete

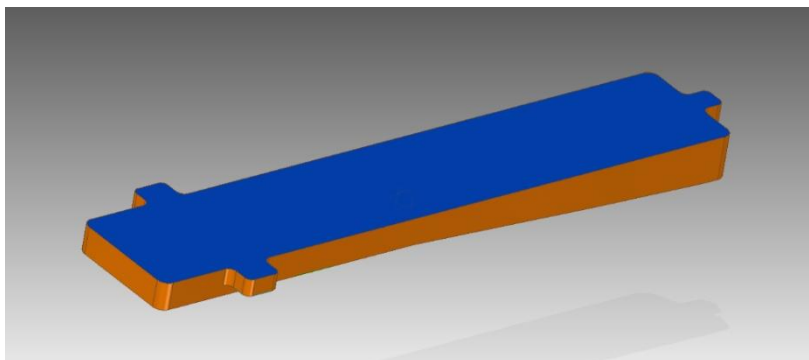
### A repülőgép gyártásának tervezése

A repülőgép gyártásának tervezésekor meg kell határoznunk a gyártandó darabszámot, és fel kell mérnünk, hogy a rendelkezésre álló eszközökkel ez hogyan valósítható meg. Jelen kutatási feladat esetében feltételeztük, hogy a gyártóbázis a későbbiekben, a meghatározott igények szerint kerül kialakításra, tehát az én esetemben egy fikcionális gyártó üzembről van szó, eszköz oldalról csak a gazdaságosság jelent korlátot. A gyártandó darabszám tekintetében figyelembe vettük, hogy az ilyen eszközök polgári célú alkalmazása még nem elterjedt, de már a küszöbön van. A repülőgép tervezésénél a nemzetközi piacot céloztuk meg, mivel valószínűleg a nagyobb országokban fogják elsőként tömegesen alkalmazni a pilóta nélküli rendszereket a civil szférában. A repülőgép saját fejlesztésű, így a prototípus és a nullszériás gyártás során lehetőség nyílik a gyártástechnológia finomítására, és a tömeggyártásra való alkalmasságának vizsgálatára is. Ezek alapján a jelenleg vizsgálandó gyártáshoz a darabszámot két prototípus és nyolc nullszériás darabban határoztuk meg.

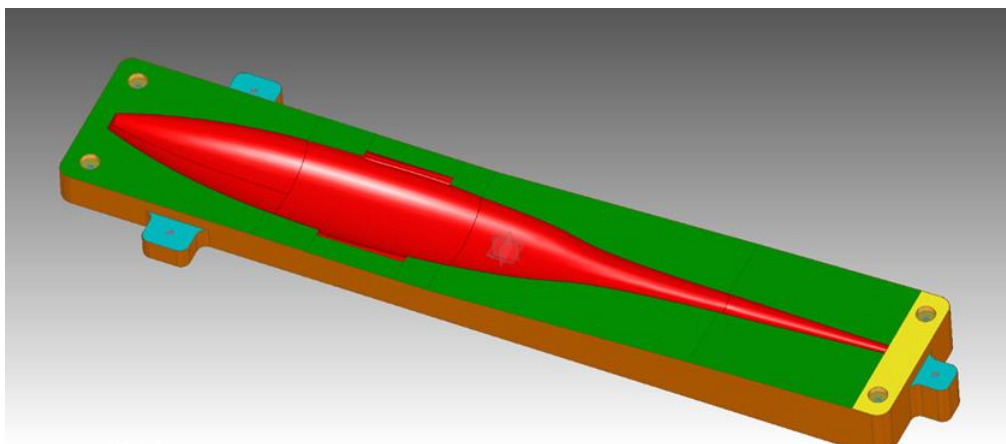
A kompozit alkatrészek gyártásához szükség van gyártó szerszámokra. A szerszámok tervezésénél törekedtünk arra, hogy a lehető legkisebb számú szerszámot kelljen legyártani, és ezek megmunkálhatóak legyenek a ma elérhető szerszámgépeken. A kompozit alkatrészek, elemek gyártásához szükséges szerszámok készülhetnek műfából, műgyantából és alumíniumból. Az első két anyag olcsóbb, és könnyebben megmunkálható, mint az alumínium, azonban az utóbbi időállóbb. A jövőbeni sorozatgyártás lehetőségét szem előtt tartva a szerszámok alapanyagául az alumíniumot választottuk. A szerszámok Solid Edge ST8 program segítségével kerültek megtervezésre, és az EdgeCam 2016 R2 megmunkáló programmal szimuláltuk a gyártásukat. A repülőgép szerszámban készülő elemei a következők: törzs burkolat, szárny burkolat, motorgondola burkolat és a vezérsík burkolat. Az itt felsorolt elemek gyártásához általában két szerszám szükséges, egy alsó és egy felső. A gyártósablonok tartalmazzák a bennük gyártandó elem negatívját. A gyártás során törekednünk kell arra, hogy a szerszámnak ez a része tükörsima, polírozott legyen, különben a szerszámban lévő felületi hibák rámásolódnak az elkészült alkatrészeire is. A szerszámoknak biztosítaniuk kell az ellendarabjukkal való „tökéletes” kapcsolódást is. Ezeknek az érintkező felületeknek is kiváló minőségűeknek kell lenniük, aminek a két szerszám egymásra fordításánál, összeillesztésénél van jelentősége. A szerszámoknak biztosítani kell az egymásra helyezhetőséget is, ezt a szerszámok méretétől függően különböző módon oldható meg. A kisebb szerszámoknál a két szerszám felet csavarokkal lehet összeszorítani, és megfelelő illeszkedésüket kiüthető központosító csapokkal biztosítani. A nagyméretű szerszámok esetén a megfelelő illeszkedést fixen szerelhető csapokkal oldottuk meg, az összeszorító erőt pedig a szerszám tömege biztosítja. Ebből következik, hogy a nagy szerszámokat csak gépi erővel lehet mozgatni, ezért a szerszámokon gyűrűs csavarokat lehet rögzíteni az üzemi daruval történő mozgatáshoz. A repülőgép kompozit elemeinek gyártásához 26 szerszám szükséges. Valamennyi szerszám műveletelem sorrendje elkészült, de terjedelmi korlátok miatt a cikk további részében csak egy nagy és egy kisebb - reprezentatívnak tekinthető – szerszám példáján keresztül kerülnek bemutatásra a szerszámok gyártásához szükséges megmunkálási igény felmérések, a szükséges megmunkálási módok és azok sorrendjének meghatározása.

### A törzs gyártó szerszáma

A nagyméretű szerszámok közül a törzs gyártószerszámát mutatjuk be. A szerszám kiinduló előgyártmánya egy 3955 mm × 1005 mm × 265[mm-es alumínium tömb. Az előgyártmányok anyaga ENAW 7021-T79 alumínium öntvény, melyet a kívánt méretűre darabolnak. A fűrészelés pontossága az Alu Cutting Hungary Kft.-vel történő egyeztetés után: hosszúság +/-0,5 mm, szélesség ± 0,5 mm, magasság -0/+5 mm. A szerszámok két befogásban kerülnek megmunkálásra, az 5. és 6. ábrákon látható az első és második befogás szerint. A szerszámon az egyes felületeket különböző színek jelzik, ezek segítségével követhető a műveletelemek sorrendjét.



5. ábra A törzs alsó szerszáma az első befogás szerint

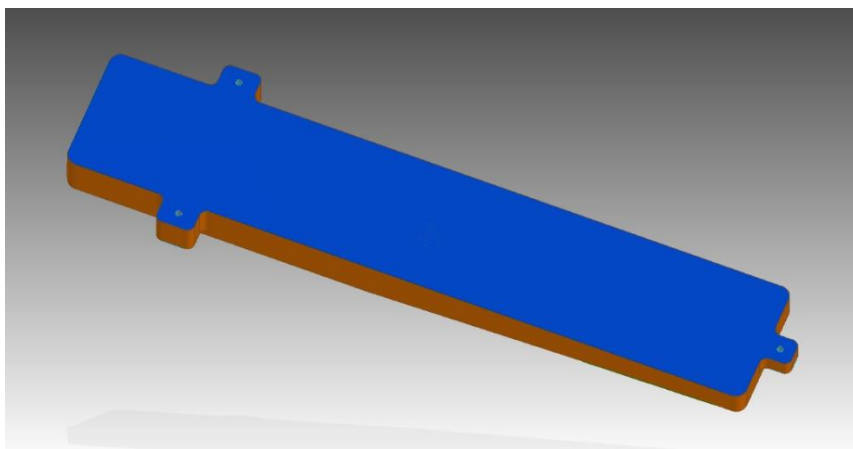


6. ábra A törzs alsó szerszáma a második befogás szerint

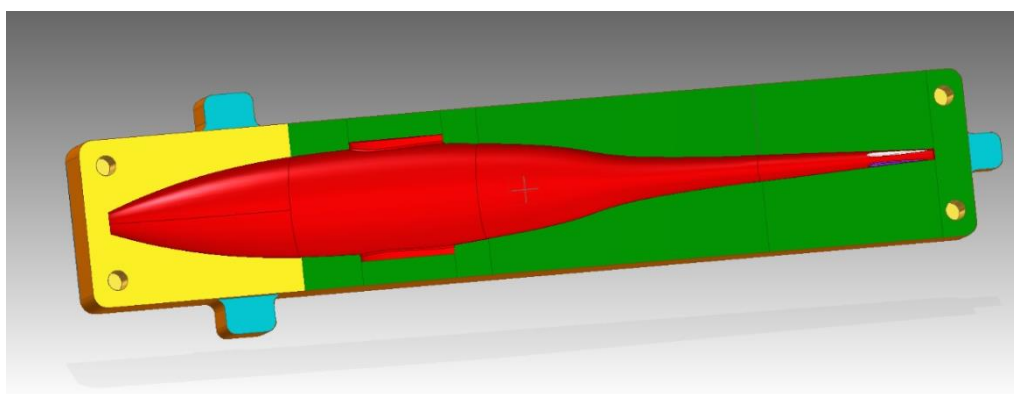
A munkadarabot a gépasztalon az asztalra rögzíthető készülékekkel kell pozícionálni az 5. ábrán látható első befogás szerint, hosszabbik oldalán ütköztetni, és az ütközőkre szorítani, felülről nem szükséges szorítani, mert a stabil fekvéséből és a tömegéből adódóan nem fog elmozdulni. A munkadarabot tehát először az első befogás szerint „fejjel lefelé” kell a munkaasztalra helyezni, majd először egy síkmarás következik, ezzel elkészül az ábrán sötétkékkel színezett felület. Ez a műveletelem a kész felületet adja, és simításnak felel meg, a célja csak a felületi szennyeződések és egyenetlenségek eltávolítása. Ezután következik a narancssárgával jelölt felületek megmunkálása, azonban a felületet ebben a befogásban nem munkáljuk meg teljes magasságában, csak annyira, hogy a következő befogáshoz elkészüljenek a készülékek számára a támasztó és szorító felületek. Tehát a felületen végrehajtandó műveletelemek a következők: nagyolás adott magasságig, majd simítás adott magasságig. Ezután a munkadarabot át kell fordítani a második megfogás szerinti helyzetbe. Ebben az esetben a készülő szerszám már az

általunk megmunkált simított felületen fekszik fel a gépasztralra, és a részben simított oldalfelületein van megtámasztva. A következő műveletelem ismételten egy simító síkmarás, amellyel a 6. ábrán a sárgával jelölt felület készül el. A következő műveletelem a narancssárga és világoskék felületek nagyolása. Majd ez után következik a 6. ábrán zölddel, pirossal és arany színű színezett felületek nagyolása. Ebben az esetben a zöld és piros felületek nagyolása egy úgynevezett teraszoló nagyolás. Megfelelő szerszám és fogásmélység meghatározásával a teraszok magasságát nem szükséges egy további teraszoló nagyolással csökkenteni. Az aranszínű felület pedig a rögzítendő csap felfekvő felülete mivel ugyanabban a műveletelemben készül, mint a zöld és a piros felületek, így olyan szármarót kell választani, amely „Z” irányú előtolásra, forgácsolásra is képes. A következő művelet a narancssárga és világoskék felületek simítása és ezáltal készre munkálása, majd a zölddel jelölt felület simítása gömbmaróval és a zöld felület alsó sík részének simítása síkmaróval. Ezután az aranszínű felületek simítása következik szármaróval, majd a piros felület simítása következik, amely a gyártandó törzs fél alakja. Ezt a felületet két lépésben profilozással kell megmunkálni, előbb egy 3 mm átmérőjű majd egy 1 [mm] átmérőjű gömbvégű maró segítségével. Ezután az aranszínű, valamint a világoskék felületen található furatok megmunkálása következik: előfúrás, furatbővítés, simítás, majd menetmarás. Ezzel a törzs alsó szerszámának gépi megmunkálása befejeződött. A szerszámot a továbbiakban ellenőrizni kell, ha szükséges a képződött sorját el kell távolítani. Végül a kész munkadarab piros felületét polírozni kell.

A törzs felső szerszáma az első és második befogás szerint a 7. és 8. ábrákon látható.



7. ábra A törzs felső szerszáma az első befogás szerint

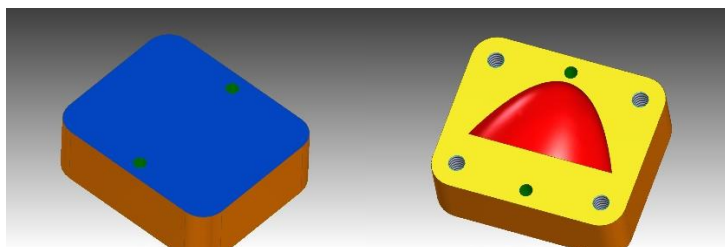


8. ábra A törzs felső szerszáma a második befogás szerint

Ennek a szerszámnak a megmunkálása már öt tengelyes megmunkáló gépet igényel a 8. ábrán lilával és fehérrel ábrázolt felületek miatt, melyek a vezérsíkok csatlakozó felületei. A kiinduló előgyártmány méretei, valamint a megmunkáló gépen való elhelyezésének módjai megegyeznek az alsó szerszám esetében ismertetettel. A szerszám megmunkálásához szükséges műveletelemek sorrendje az első befogás szerint a következők. Az 7. ábrán késsel jelölt felület síkmarása, majd a narancssárga felületek nagyolása adott mélységig, ezek után ugyanakkora mélységig ugyanezen felületek simítása. Ezután kerülhet sor a kék felületen látható furatok elkészítésére, ennek menete a következő: központozás, előfúrás, furat bővítése, majd menetmarás. A második befogásban elvégzendő műveletelemek sorrendje a következő módon alakul. A 8. ábrán látható narancssárga és világoskék felületek nagyolása. Ezt követi egy síkmarás, amellyel az ábrán látható sárga felület készül el. A következő műveletelem a zöld, piros és arany színű felületek nagyolása, a zöld és piros felületek esetében ez egy teraszoló nagyolás. Ez a műveletelem hasonló az alsó szerszám ugyanilyen módon színezett felületeinek megmunkálásához. A következő műveletelem a narancssárga és világoskék felületek simítása és ezzel készre munkálása. Ezután a zöld felületek simítása következik. Ezt követően az arany színű felületek simítása, ezekbe a hornyokba illeszkednek majd a központozó csapok. A pirossal jelölt felületek készre munkálása két profilozó műveletből áll, egy 3 mm-es majd egy 1 mm átmérőjű gömbvégű marószerszám segítségével. Az ábrán lilával és fehérrel jelölt felületek csak ezután munkálhatóak meg, ehhez a megmunkáló központ főorsó fejének szögben állíthatónak kell lennie. A két említett felületcsoport megmunkálásának menete a következő: a felületek nagyolása szármaróval, a felületek simítása 3 mm átmérőjű gömb végű maróval, majd ugyanez a műveletelem még egyszer 1 mm átmérőjű gömb végű maróval. Ezzel a szerszám gépi megmunkálása befejeződött. Az elkészült munkadarabot ellenőrizni kell, a keletkezett sorját el kell távolítani, valamint a lilával és fehérrel jelölt felületcsoportok összeszűkülő felületeit türeszelővel ki kell reszelni. A munkadarab piros, lila és fehér felületeit ezek után polírozni kell.

### *Az orr gyártó szerszáma*

A kisméretű szerszámok gyártásának bemutatására az orr szerszámát választottuk ki. A megmunkálás itt is két befogásban történik. A következő 9. ábrán a törzs orr részének alsó szerszáma látható az első befogás szerint. A szerszám két felét csavarokkal lehet egymáshoz szorítani, és kiüthető központozó csapokkal központozítani. A szerszámok kisméretűek, kézzel szállíthatóak, az előgyártmány méretei mindkét szerszámfél esetében: 125 mm × 100 mm × 45 mm. A munkadarabot satuba szorítva kell a gépasztalra helyezni.

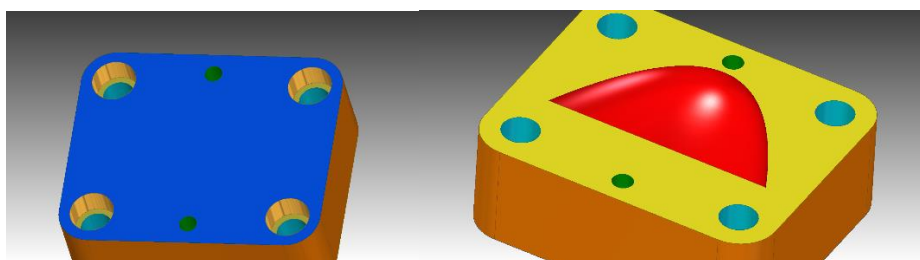


9. ábra A törzs orr részének alsó szerszáma az első és második befogás szerint

A műveletelem sorrend az első befogás szerint a következő: a kék felület síkmarása, a narancssárga felület nagyolása, ameddig a satu engedi, majd ugyanezen felület simítása. Ezt követően a

munkadarabot át kell fordítani a második pozícióba, majd ismét satuba szorítani. A második befogásban elvégzendő műveletelemek sorrendje: narancssárga felület nagyolása, sárga felület síkmarása, piros felület nagyolása, narancssárga felület simítása, piros felület profilozása 3 mm majd 1 mm átmérőjű gömb végű szármaróval. Ezután készülnek el a sárga felületen látható furatok. A zölddel jelölt furatok a következő módon készülhetnek el: központozás, fúrás, majd dörzsárazás, a menetes furatok pedig a következő módon: központozás, fúrás, menetfúrás. Az elkészült szerzámot ezután ellenőrizni kell, és sorjátlanítani, majd a piros felületeket polírozni.

A következő 10. ábrán az orr felső szerzám látható az első és második befogás szerint.



10. ábra A törzs orr részének felső szerzám az első és második befogás szerint

A szerzám megmunkálása közel azonos az alsó szerzáméval, a különbség, hogy ebben az esetben az első befogásban munkáljuk meg a furatokat. Az ábrán zölddel jelölt furatok esetében: központozás, fúrás, dörzsárazás, a süllyesztett furat esetében pedig: központozás, fúrás, süllyesztés. A szerzámot elkészülte után ellenőrizni kell, majd a piros felületet pedig polírozni.

### A szerzámok befoglaló méretei és megmunkálási ideje

Az egyes szerzámok előgyártmány méreteit, és a gépi megmunkálás idejét tartalmazza a következő 1. táblázat.

Megnevezés	Előgyártmány befoglaló méretei [mm]	Gépi megmunkálás ideje [h]
Törzs alsó szerzám	3955×1005×265	221
Törzs felső szerzám	3955×1005×265	250
Orr alsó szerzám	125×100×45	3
Orr felső szerzám	125×100×45	3
Törzs vég alsó szerzám	125×85×35	2
Törzs vég felső szerzám	125×85×35	2
Szárny alsó szerzám (2 db)	3005×905×155	116×2
Szárny felső szerzám (2 db)	3005×905×155	99×2
Motorgondola elülső rész alsó szerzám (2 db)	555×255×115	21×2
Motorgondola elülső rész felső szerzám (2 db)	555×255×135	30×2
Motorgondola hátsó rész alsó szerzám (2 db)	355×285×125	35×2
Motorgondola hátsó rész felső szerzám (2 db)	355×275×125	35×2
Szárnyvég szerzám (2 db)	235×45×30	2,5×2
Vezérsík alsó szerzám (2 db)	805×305×55	44×2
Vezérsík felső szerzám (2 db)	805×305×55	43×2
Vezérsík vég szerzám (2 db)	205×40×15	1,5×2

1. táblázat Az előgyártmányok befoglaló méretei és a megmunkálási idők



### **Az alkatrészek gyártása**

A repülőgép főbb alkatrészei kompozitból, a merevítő és tartó alkatrészek pedig rétegelt lemezből, valamint műanyagból készülnek. A prototípus és a 0 széria gyártandó darabszámából kiindulva a kompozit alkatrészek gyártására a kézi laminálást választottuk. A nem kompozit alkatrészek gyártását később ismertetem.

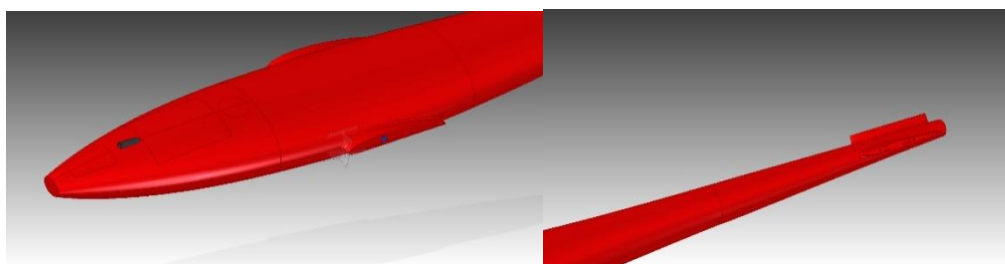
#### *A kompozit alkatrészek gyártása*

A kompozit elemek rétegrendjét a következő anyagok alkotják. A lamináláshoz használt gyanta és edző típusa: L-285-ös lamináló gyanta H-286-os edzővel. A felhasznált mátrixanyagok 49 g/m<sup>2</sup>-es üvegszövet és 100 g/m<sup>2</sup>-es kétirányú szénszövet. A felhasznált maganyagok: NOMEX aramid-papír méhsejt és AIREX R63 zárt cellás PVC hab.

#### *A törzs kompozit alkatrészeinek gyártása*

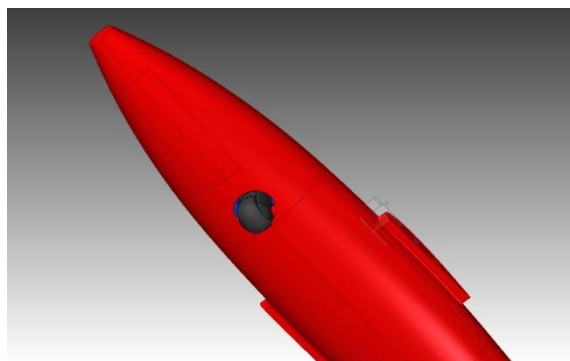
A törzs szerelése a törzs kompozit elemeinek gyártásával kezdődik. A gyártáshoz szükséges a kompozit elemek rétegrendjének meghatározása. A rétegrend kiválasztásához megvizsgáltuk a kereskedelemben kapható hasonló méretű repülőgép modellek és pilóta nélküli repülőgépek rétegrendjét. A választott rétegrendet a gyártási folyamat során ismertetjük. A kompozit törzs gyártása a gyártó szerszámok alakadó felületeinek formaleválasztóval való bekenésével kezdődik. A törzs gyártásához szükséges szerszámfelek esetében az egyes lépések párhuzamosan végezhetőek. A formaleválasztó réteg felvitele után kezdődhet az alakadó felületek festékszóróval történő festése. A festék alkalmazása nem szükségszerű, ezzel meg lehet adni a repülőgép alapszínét, amelyre később további minták festhetőek. A festést követően meg kell várni amíg az már nem folyik, a felszíne még ragad. A festés során ügyelni kell, hogy a festékréteg egyenletes legyen. Amíg a festés szárad, le lehet szabni a gyártáshoz szükséges további anyagokat, ezek a következők: üvegszövet, méhsejt cellás maganyag, szeparátor fólia és vákuum filc. Az üvegszövet szabása során nem kell törekedni a pontos alakra és méretre a lényeg, hogy megfelelően borítsa az alakadó felületeket, a többi leszabandó anyag esetében viszont törekedni kell a pontosságra, ennek érdekében sablonokat alkalmaznak a vágás során. Ezután kikeverhető a gyártáshoz szükséges gyanta, és a szerszámba helyezhetőek mindkét szerszámfél szárnycsontkjain később kialakítandó csatlakozók magjai. Ezek ideiglenesen helyezendőek a szerszámba, a feladatuk, hogy a gyártás befejeztével a nyílások egyszerűbben kialakíthatóak legyenek. A festék megszáradása után az első üvegszövet réteget behelyezik a szerszámtestbe, és átítatják gyantával. Festőhenger segítségével viszik fel a gyantát a szerszámba helyezett üvegszövetre. A művelet során ügyelni kell, hogy ne legyenek légbuborékok az üvegszövet alatt, a sarkokat mikrobalonos gyantával kell kitölteni. Ezt követően meg kell várni, amíg a gyanta részben térhálósodik, a méhsejt cellás maganyag csak ezután helyezhető a szerszámba, majd vákuum fóliával borítják és hőkezelik. A hőkezelés után a behelyezett maganyagra kerül a következő, már a szeparátor fóliára laminált szövetréteg, amelyet szintén gyantával kell átítatni, amit a vákuum filc szerszámba helyezése követ. A vákuum filc feladata, hogy a vákuumozás során kiszoruló, a szeparátorfólián átfolyó gyantafelüleget felszívja. A következő lépés a szerszám borítása vákuum fóliával, majd kompresszor segítségével létrehozuk a szükséges nyomást. Az alsó szerszámfél vákuumozása után a szerszámok a hőkamrába kerülnek, a hőkezelés időtartama és hőmérséklete az alkalmazott gyantától függ. A hőkezelés után a szerszámokat ki kell venni az autoklávból, és hagyni kell őket kihűlni, a vákuumfólia és a szeparátorfólia segítségével a vákuum filc eltávolítható. Ezzel elkészült a törzs

héj alsó és felső része. Az elkészült kompozit elemeket ellenőrizni kell, ha a rétegek illeszkedése nem megfelelő, akkor a hiba függvényében el kell dönteni, hogy javítható vagy selejt. A következő lépésben eltávolítható a szerszámból kilógó felesleges szövet. Az alkatrészek vizsgálatánál mind a külső, mind a belső felületeket alaposan át kell nézni. A felületek vizsgálata után a további szerelés megkönnyítésének érdekében a törzs felső felén található szárnycsonkokról el kell távolítani a szárnybekötéseket, a chesterton, az üzemanyag vezetékek és a csatlakozók helyére helyezett magokat. Ahol ilyen módon megbontottuk a réteget, ott a sérült méhsejt cellákat mikrobalonos, aerozilos gyantával ki kell tölteni, ezt a gyantát kell használni az alkatrészek ragasztásához is. A sérült cellák kitöltése után meg kell várni, amíg a ragasztó megköt. Majd a törzs alsó részében a merevítő bordák helyének, a felső részében az üzemanyagtartály helyének bejelölése és a felületek előkészítése után megkezdődhet a beragasztásuk. A ragasztásnál fontos, hogy egy lépésben csak egymástól független különálló alkatrészek ragaszthatóak a ragasztó hosszú kötési ideje miatt. A törzs felső felébe beragasztható az üzemanyagtartály és az elülső merevítő, és a következő lépéshez összeragasztható a hasznos terhet tartó lemez és a chesterton tartó. Amíg a ragasztó köt, előkészíthetők a következő lépésben beragasztandó alkatrészek, illetve a további kompozit alkatrészek gyártása. A ragasztó megkötése után a törzs felső részébe beragasztható a hasznos terhet tartó lemez, amely a beragasztott üzemanyagtartályhoz pozícionálható, és az elülső tartó lemez, amely majd az orr futóművet és az orrsúlyt tartja, ez az alkatrész a beragasztott merevítőkhöz pozícionálható. A törzs alsó felébe beragasztható az elektronikát tartó lemez, amelyen már előzetesen rögzítésre kerültek a futómű kamraajtó mozgatásához szükséges szervó tartó alkatrészek és a gimbal kamera tartója. Ezek után ismét meg kell várni, amíg a ragasztó megköt. Majd be lehet helyezni a vezérsíkokat és a törzs elejét összekötő kábelkötegeket, ezek a kábelek kötik majd össze a robotpilótát a vezérsíkokat üzemeltető szervókkal és a kamraajtó szervókkal és a szárnyban található szervókkal. Ezután már egymásra rakható a két szerszámfél, előtte a ragasztásban résztvevő felületeket be kell kenni ragasztóval, majd a szerszám összezárása után meg kell várni amíg, megköt a ragasztó. Miután a ragasztó megkötött, a felső szerszám eltávolítható, és a készülő törzset ki lehet emelni az alsó szerszámfélből. A törzs ezután egy szerelőpadra helyezhető, ahol ki kell vágni a csatlakozó és szerelő nyílásokat, a kamra ajtót, a gimbal kamera szerelőnyílását és a futóműkamra ajtaját. A kivágás minősége jelentősen javítható előre elkészített sablonok segítségével, a sablonok ráilleszthetőek a kész alkatrészeire, így garantálva, hogy a kivágandó nyílások mindig minden gyártott törzsen ugyanoda kerüljenek. A törzs felső részén ki kell vágni az üzemanyagtöltő nyílást, az elektromos egységek elérhetőségét biztosító nyílást, a csőkamera helyét és az opcionális súly behelyezéséhez szükséges nyílást, a gimbal kamera szerelőnyílását, valamint a vezérsík csomópontokon is ki kell vágni a rögzítéshez szükséges nyílásokat. Az említett kivágásokat szemlélteti a következő 11. ábra.



11. ábra Törzs felső részének nyílásai

A törzs alsó felén ki kell vágni a kamraajtót, a gimbal kamera nyílását és a futómű kamraajtót. A kivágott kamraajtókra ezután ráragasztják a mozgatásukhoz szükséges nyáklemezeket. A futómű kamraajtó nyílásán keresztül beszerelhető az orr futómű, a kivágott kamera szerelőnyíláson keresztül pedig beszerelhető a kamera. A futóművet és a mozgató aktuátort a beépítés előtt tesztelni kell. A raktér nyíláson keresztül beszerelhetők a kamraajtó mozgatásához szükséges szervók. Majd a mozgó kamraajtók felszerelése következik. A törzs alsó részének nyílásait szemlélteti az 12. ábra.



12. ábra A törzs alsó részének nyílásai.

Utolsó lépésként a törzsbe kerülő elektronika beépítése következik, ekkor kerül behelyezésre a robotpilóta, az akkumulátor és a futómű vezérlő és a csőkamera. A beépített elektronikát előzetesen tesztelni kell, a kamerák esetén a képminőséget, a gimbal kamera esetében az egyes kameramódokat és a különböző irányokba történő mozgást is tesztelni kell.

A törzs orr része esetén hasonló a gyártási technológia és a rétegrend is megegyezik az előző esetével. A szerszámfelek formaleválasztóval történő kezelése, majd festés. Amíg a festés szárad, elő lehet készíteni a rétegrendnek megfelelő anyagokat: üvegszövet, méhsejt cellás maganyag, szeparátor fólia és vákuum filc, valamint bekeverhető az impregnálásához szükséges gyanta. Miután a festék már nem folyik, behelyezhető az első üvegszövet réteg, amelyet ecset segítségével itatnak át gyantával, ezt követően mikrobalonos gyantás ragasztót kell a sarkokra vinni, és várni kell amíg a gyanta részben térhálósodik. Majd a szerszámba helyezhető a méhsejt cellás maganyag, ezután vákuum fóliába kerül, majd hőkezelik, és a szeparátor fóliára laminált második üvegszövet réteg csak a hőkezelés után kerülhet a szerszámba, majd ráhelyezik a vákuum filcet. Ezután a szerszámok vákuumcsomagolásba helyezhetőek, a szerszámok kis mérete miatt ebben az esetben többször felhasználható vákuumzacskó használható. A megfelelő nyomás beállítása után a hőkamrába helyezhetőek. A hőkezelés után a szerszámokat ki kell venni, és megvárni, amíg lehűlnek, majd kivehetőek a vákuum csomagolásból, és eltávolítható a vákuum filc és a szeparátor fólia. A felesleges üvegszövetet le kell vágni, és az elkészült alkatrészeket ellenőrizni kell. Majd a ragasztandó felületekre ragasztót kell felvinni, és a szerszámok összezárhatóak. A megfelelő összeszorítás érdekében a felső szerszámfélre súlyt kell rakni. A ragasztó megkötése után a szerszámot ki lehet nyitni, és az elkészült orr részt ki lehet venni, ezután már csak a pitotcső helyét kell kifűrni, és beragasztani a pitotcsövet. Miután a ragasztás megkötött, az orr részt az előzőekben elkészült törzshöz kell ragasztani.

A törzsvég esetén a gyártási technológia megegyezik az orr rész gyártásának technológiájával, így ezt már csak röviden kerül ismertetésre. A gyártáshoz szükséges műveletek a következők:

a szerszámfelek formaleválasztóval való kezelése, festés, rétegrendnek megfelelő anyagok szabása, üvegszövet réteg impregnálása a szerszámokban, sarkok ragasztóztatása, méhsejt cellás maganyag behelyezése, majd hőkezelés, majd üvegszövet réteg impregnálása szeparátorfólia és vákuum filc behelyezése, vákuumcsomagolás majd hőkezelés. A hőkezelés után vákuumcsomag felesleges üvegszövet és szeparátor fólia és vákuum filc eltávolítása, majd minőségellenőrzés. Ezután a ragasztandó felületekre ragasztót kell felvinni, és a szerszámfelek összezárhatóak. A ragasztó megkötése után a szerszám nyitható, a kész alkatrész eltávolítható, és hozzáragasztható a törzshöz. Miután a ragasztó megkötött, a törzs elkészült.

### A szárny kompozit alkatrészeinek gyártása

A szárny szerelésének első művelete a szárny kompozit héjának létrehozása. A szárny héját alkotó kompozit szerkezet rétegrendje a következő: üvegszövet, kétirányú karbon szövet, herex hab, üvegszövet. A szárny alsó és felső felének gyártása egymással párhuzamosan történhet. A szerszámok alakadó felületeit formaleválasztóval kell bevonni, be kell helyezni a csatlakozási pontokhoz a magokat, és le kell szabni a rétegrendnek megfelelő anyagokat, és be kell keverni a gyantát. Elsőként egy üvegszövet réteget kell a szerszámra helyezni és gyantával átíratni, majd a karbon szövetet szintén gyantával kezelni. Ügyelni kell rá, hogy ne legyenek légbuborékok, és a szerszám sarkos részeire mikrobalonos ragasztót kell felvinni. Majd a szerszámra helyezhető a herex hab és a lezáró üvegszövet réteg. Ezt szintén gyantázni kell majd a szeparátorfólia és a vákuum filc következik. Ezt követően a vákuumfóliát kell a szerszámra helyezni, és kompresszor segítségével beállítani a megfelelő nyomást. Miután ez mindkét szerszámnál megtörtént, a hőkamrába helyezhetőek. A hőkezelés után a szerszámoknak ki kell hűlnie, ezután eltávolítható a vákuumfólia és a vákuum filc, valamint a szeparátor fólia. A szárny alkatrészeinek beragasztása előtt ellenőrizni kell az elkészült kompozit héjak minőségét, és el kell távolítani a csatlakozási pontokról a magokat. Az alkatrészek közül a futómű rögzítő merevítő keretet előre össze lehet ragasztani, és a bordák is felfűzhetőek a főtartó alsó részére a kompozit gyártás közben. Első lépésben a főtartó alsó része a felfűzött bordákkal együtt, a segéd tartó, és a felső szerszámra pedig a főtartó felső része, ragaszthatóak be. A ragasztó kötése után a főtartó középső részei ragaszthatóak be. Ebben a lépésben már elhelyezhetőek a hosszabbító kábelek és csatlakozók a szárnyban. A következő lépésben a chesterton fészek ragasztható be. Majd pedig a futómű felfogató kerete. Ezek után a ragasztandó felületekre felviszik a ragasztót, és összezárható a két szerszámfél. A ragasztó megkötése után a szerszám felnyitható, és a szárny kiemelhető. Ezek után a szükséges szerelő és a féklap nyílások kivágása következik, a nyílások kivágása után behelyezhetőek a csűrőlapot és a féklapot mozgató szervók tartói. A féklapra kivágás után fel kell ragasztani a mozgatásához szükséges nyáklemeszt. Beszerelhetővé válik a csűrőlap mozgató és a féklap mozgató szervó, továbbá a szárny rögzítéséhez szükséges rögzítő csapok. Végül zsanérozható és felszerelhető a féklap és a csűrőlap is. A jobb oldali szárny esetében ugyanezeket a gyártási és szerelési műveleteket kell elvégezni.

A motorgondola két elemből épül fel, az első részből, amely a motorgondola és a szárny kapcsolódása, és a hátsó részből, amely magát a motort tartalmazza majd. A motorgondolák a bal és jobb oldali félszárny esetében ugyanazokkal a szerszámokkal gyárthatóak. A motorgondolák rétegrendje megegyezik a szárny rétegrendjével. A motorgondola első és hátsó részének gyártása párhuzamosan folyhat. Az első lépés a szerszámok alakadó felületeinek formaleválasztóval kezelése, és a rétegrendnek megfelelő anyagok leszállása illetve a gyanta bekeverése. Az első

réteg az üvegszövet, amelyet át kell itatni gyantával, majd a kétirányú karbon szövet réteg következik, ezt szintén gyantával kell kezelni, ezután a sarkokra mikrobalonos ragasztót kell felvinni. A következő lépésben a herex hab és a lezáró üvegszövet réteg kerül behelyezésre, ezt ismételtén gyantával kell kezelni, majd a szeparátorfólia és végül a vákuum filc kerül a szerszámba. Ezután a szerszámok vákuum csomagolásba helyezhetők, és a kívánt nyomás beállítása után a hőkamrába kerülnek. A hőkezelés és a szerszámok lehűlése után ki kell venni a sablonokat a vákuum csomagolásból és el kell távolítani a vákuum filcet és a szeparátor fóliát, valamint a felesleges üvegszövetet le kell vágni, és ellenőrizni az elkészült alkatrészek minőségét. A kompozit elemek gyártása közben előkészíthetők a motorgondolába építendő alkatrészek, így a motorgondola felsőrészéhez tartozó bordák és hosszanti merevítők összeragaszthatóak, és a ragasztás után a hosszanti merevítőhöz rögzíthető a gázkart működtető szervó. Az elkészült motorgondola kompozit elemek kiemelhetők a szerszámból, és a felső rész esetében szerelőnyílást, az alsó rész esetében pedig a futómű helyét, a futómű kamra ajtaját és futóművel nyíló burkolatelemet. Az előkészített merevítő szerkezet beragasztható a motorgondola felső részébe. Az alsó részbe csak merevítő bordák kerülnek. A motorgondola felső részében ezután rögzíthető a kamraajtót mozgató szervó. Ezt követően a főfutómű beépíthető a szárnyba, és felragasztható a motorgondola alsó része. A futóművet és a mozgató aktuátort próbapadon kell tesztelni a beépítése előtt. A ragasztás megkötése után zsanérozható a kamraajtó, és felszerelhető a futóművel nyíló burkolatelem. A következő művelet a motorgondola felső részének ragasztása a szárnyhoz. Ezután következik a tűzfal felragasztása, ez tartja majd a motort. Amíg a ragasztó köt, a motorra felszerelhető a tartó adapter a légcsavarkúp és a légcsavar. A motort beépítés előtt a műszaki leírásnak megfelelően próbapadon kell járattani adott ideig, a motor csak akkor építhető be, ha a próbajárat alatt nem volt semmi rendellenesség. A motor beépítése után a motorgondola hátsó részének felszerelése következik. A jobb oldal esetében ugyanezeket a lépéseket kell végrehajtani. A szervókat beépítés előtt minden esetben tesztelni kell.

A szárny elkészítéséhez szükséges utolsó kompozit alkatrész a szárnyvég. A szárnyvég rétegrendje megegyezik a szárnyéval. A gyártási technológia röviden a következő. A gyártósablon alakadó felületének formaleválasztóval való kezelése. A rétegrendnek megfelelő anyagok leszabása. Az első üvegszövet réteg szerszámba helyezése és gyantázása, majd a kétirányú karbon szövet réteg gyantázása, a sarkok ragasztóztatása. Ezután a herex hab és a lezáró üvegszövet a szeparátor fólia és a vákuum filc következik. A szerszám ezután vákuum csomagolásba, majd hőkamrában kerül hőkezelésre, a megfelelő nyomás beállítása után. A hőkezelés után a szerszám kivehető a vákuum csomagolásból, eltávolítható a vákuum filc és a szeparátor fólia. Az elkészült alkatrész kivehető a szerszámból és a minőség-ellenőrzés után felragasztható a szárnyra. A jobb oldal esetében ugyanezeket a műveleteket kell elvégezni.

### A vezérsík kompozit alkatrészeinek gyártása

A vezérsík rétegrendje megegyezik az előző fejezetben bemutatott szárny rétegrendjével. Az első lépés a szerszám alsó és felső részének formaleválasztóval való kezelése, a rögzítési pontokhoz a magok behelyezése és a rétegrendnek megfelelő anyagok leszabása. Majd a szerszámba kerül az első üvegszövet réteg és a kétirányú karbon szövet, ezeket gyantával kell átítatni, ügyelve arra, hogy a szövetek alatt ne maradjanak légbuborékok, a szerszám élesen sarkos részeire mikrobalonos gyantát kell felvinni. A következő lépésben a szerszámba helyezhető a herex hab és a lezáró üvegszövet, ezt szintén gyantával kell átítatni, majd a szeparátor fólia és a vákuum filc kerül a

szerszámba. Ezt követően a szerszámok vákuum csomagolásba kerülnek, és a kívánt nyomás beállítása után hőkamrába helyezhetőek. Amíg tart a hőkezelés, előkészíthető és összeragasztható a főtartó és tesztelhetőek a szervók. A hőkezelés után a kihűlt szerszámok kivehetőek a vákuum csomagolásból, és eltávolítható a vákuum filc és a szeparátor fólia, valamint levágható a felesleges üvegszövet. A kompozit alkatrész minőségének ellenőrzése után a vezérsík alsó felébe beragasztható a főtartó és behelyezhető a hosszabbító kábelköteg, amely a törzsben végigfutó kábelköteghez csatlakoztatható, és eltávolíthatóak a csatlakozók helyét jelölő magok. A ragasztó kötése után be kell ragasztózni a vezérsík felső résszel érintkező felületeit, és ezek után összezárható a szerszám. A ragasztó kötése után a szerszám kinyitható, és a kész alkatrész eltávolítható. Majd a vezérsík felső részén ki kell vágni a szervók szerelőnyílását, a kivágott nyíláson keresztül pedig beragasztható a szervótartó. A ragasztó kötése után behelyezhetőek a szervók, és beragaszthatóak a törzshöz való csatlakozást segítő multiplex csatlakozó és a tájoló csap. A jobb oldali vezérsík gyártásánál ugyanezeket a lépéseket kell elvégezni.

A vezérsík vég gyártása megegyezik az előző fejezetben bemutatott szárnyvég gyártásával. Miután a vezérsík vég elkészült felragasztható, a vezérsíkra. Az utolsó a kormányfelület zsanérozása és összekapcsolása a szervókkal.

### A kisebb alkatrészek gyártása

A repülőgépben található merevítő és tartó alkatrészeket a felhasznált anyagok alapján csoportosíthatjuk. A törzsben és szárnyban található merevítő bordák és főtartók laminált herex habból készülnek. Az eljárás során az alkatrészeknek megfelelő mennyiségű anyagot leszabják a herex táblából, majd a kivágott alkatrészre két oldalról üvegszövetet laminálnak. Erősebb szerkezetet kapunk, ha az alkatrészeket két félből ragasztjuk össze, ebben az esetben mindkét fél mindkét oldalára üvegszövetet laminálunk, majd összeragasztjuk őket.

A törzsben található padlólemezek, bordák, valamint a szárnyban található bordák és merevítő elemek rétegelt lemezből készülnek. A megfelelő vastagságú lemezből vághatóak lézerrel. A lézervágás előnye, hogy az alkatrészekben található kivágások is elkészíthetőek vele. A padlólemezekhez kapcsolódó egyéb alkatrészek rögzítéséhez szükséges furatok pedig asztali fúrógéppel is elkészíthetőek.

A szárnyban és a vezérsíkban található szervók, valamint a futóművek behúzását biztosító aktuátorok tartói 3D nyomtatással készülnek. Ezek az alkatrészekon ébredő erők elhanyagolhatóak, feladatuk a kereskedelmi alkatrészek megfelelő pozícióban való tartása. A 3D nyomtatott alkatrészek alapanyaga ABS. A 3D nyomtatott elemek úgynevezett szálalás nyomtatással készülnek. Ez azt jelenti, hogy az alapanyag adott átmérőjű szál, melyet a nyomtató fej felhevít és extrudál a fúvókán keresztül. Ezen alkatrészek szilárdsága függ a falvastagságtól és a kitöltés sűrűségétől.

A szárnyakban és a törzsben található chesterton fészek az úgynevezett göngyöléses eljárással készül. A szerszám felületét-, ami a fészekbe helyezhető chesterton méreteivel rendelkezik-, formaleválasztóval vonják be, majd erre göngyölik fel a gyantával átitatott üvegszövetet.

A szárnyon és a vezérsíkon található kormányfelületek XPS habból készülnek. A habot CNC habvágóval a kívánt formájúra vágják. A vágás után üvegszövetet kell laminálni a kormányfelületekre.

### *A repülőgép gyártásának ütemezése*

A repülőgép gyártásán és szerelésén négy ember dolgozik, a munkások számát a saját tapasztalataim és a nagyméretű szerszámok alapján határoztuk meg. Ebben a fejezetben a gyártás ütemezésére koncentrálnunk, a gyártás menetét nem ismertetjük részletesen, az látható az előző fejezetben. Az ütemezés során arra törekedtünk, hogy minél kevesebb legyen a gyártáson/szerelésen dolgozó emberek állásideje.

A gyártás a legnagyobb kompozit elemek előállításával kezdődik, mivel ezeknél a későbbiekben a szerelés során a ragasztó hosszú kötési ideje miatt, és-mert ahogyan korábban is olvasható egy lépésben csak egymással nem összefüggő alkatrészek ragaszthatóak, sok lenne a várakozási idő.

A gyártás a törzs szerszámainak előkészítésével formaleválasztózásával kezdődik. A törzs esetében két munkás dolgozik a felső részen és kettő az alsó részen. Majd a szerszámokat alapszínre festik. A festést egy munkás végzi, a maradék három a rétegrendnek megfelelő anyagokat szabja le. Ezt követően a rétegrend felépítése következik a korábbi fejezetnek megfelelően, majd vákuumozás és az első hőkezelés. Ezek a műveletek a munkaidő első feléig tartanak. A munkaidő második felében a bal oldali szárnyfél rétegrendjének megfelelő anyagok leszabása, a szerszámok előkészítése és a rétegrend felépítése és hőkezelése történik. A szárny esetében szintén egy szerszám félen két ember dolgozik.

A következő munkanapon a hőkezelés után a törzs rétegrendjének befejezése történik, majd ismételten vákuumozása és hőkezelése. A nap folyamán kinyomtathatóak a szárnyakba ragasztandó 3D nyomtatott szervótartók (6 óra). A következő a jobb oldali szárnyfél gyártása az előző bekezdésnek megfelelően. Ezek a műveletek a munkanap kétharmad részét veszik igénybe. A hátralévő időben a törzsbe elsődlegesen beragasztandó alkatrészeket kell előkészíteni és a kamraajtó mozgató szervókat tesztelni, és el kell indítani a kamera tartó 3D nyomtatását (13,5 óra). A hőkezelés befejeztével a törzs szerszámaiba beragaszthatóak az első lépésben ragasztandó alkatrészek (lásd. előző fejezet). Majd egy munkás elkezd szabni a törzs orr és záró eleméhez szükséges anyagokat és felépíti azok rétegrendjét és a hőkezelőbe viszi. Ezek a szerszámok kisméretűek így egy ember foglalkozik mind a négy szerszámmal. Egy munkás elkészíti a törzsbe építendő kábelköteget. Egy munkás előkészíti a szárnyakba építendő alkatrészeket. A negyedik munkás pedig a törzsbe utolsó körben ragasztandó alkatrészeket készíti elő, kinyomtattja a törzsbe építendő maradék négy 3D nyomtatott alkatrészt (4 óra), ellenőrzi a beépítendő szervókat és a futómű mozgató mechanikát.

A következő napon a törzs végelemeivel dolgozó munkás befejezi azok rétegrendjének felépítését, és ismételten a hőkezelőbe viszi azokat. A maradék három munkás beragasztja a törzsbe az összes ragasztandó alkatrészt és behelyezi a kábelköteget, ekkor a törzs felső részén két, az alsó részén pedig egy munkás dolgozik. A következő lépésben a szárnyba első lépésben ragasztható alkatrészek beragasztása. Ekkor szárny felenként két-két munkás dolgozik.

Miután a törzsvég és az orr részek hőkezelése befejeződött, a szerszámaik összezárhatóak, az említett művelet végrehajtása egy munkást igényel. A szárnyba beragaszthatóak a második körben ragasztandó alkatrészek, ez szárny felenként egy-egy munkást igényel. A maradék munkás elkészíti a szárnyakba építendő kábelkötegeket, és ellenőrzi a beépítendő szervókat, ez egy egész napos művelet. A törzs záró elemeivel és a szárnyal foglalkozó munkások első feladatuk

befejezése után a törzs ragasztandó felületeit ragasztózzák, és felkészítik a szerszám feleket az összezárásra, majd koordinálják azok összezárását.

A következő napon egy munkás kinyitja a törzsvég és orr rész szerszámaint és eltávolítja a kész termékeket, majd az orr részen kialakítja a pitot cső helyét és be is ragasztja. A maradék három munkás a törzs szerszámok felnyitását koordinálja, majd eltávolítják a törzset a szerszámból. Majd két munkás a törzsön kialakítandó nyílásokat készíti el. Egy munkás pedig a szárnyba 3. lépésben ragasztandó alkatrészeket ragasztja be. Majd a törzs záró elemeivel befejező munkás segítségével behelyezik a szárny felekbe a kábelkötegeket. A törzs nyílásain dolgozó munkások közül az egyik előkészíti a fedelet, kamra-és raktérajtókat a végső szereléshez, a másik pedig beszereli a futóművet és a kamerákat.

A következő napon, egy munkás a szárnyba ragasztandó utolsó alkatrészeket ragasztja be, majd felkészíti a szerszám feleket az összezárásra. Egy munkás a repülőgép motorjait teszteli és készíti elő. Egy munkás a motorgondolák és a vezérsíkok rétegrendjének megfelelő anyagokat szabja le. A negyedik munkás pedig a motorgondolákhoz és a vezérsíkokhoz szükséges alkatrészeket készíti elő, teszteli a beépítendő szervókat és a fő futóműveket. A nap folyamán ki nyomtathatóak a vezérsíkba ragasztandó szervótartók (2,5 óra).

A következőkben, a szárny felek összezárásához szükséges ragasztandó felületek ragasztózzása, ez szárny felenként két-két munkást igényel. A ragasztózás után a munkások a szerszámok összezárását koordinálják. A feladatok befejeztével a motorgondolák és a vezérsíkok rétegrendjét építik fel. Ekkor egy munkás foglalkozik a motorgondolák elülső részeivel (4 szerszám), egy munkás a motorgondolák hátsó részeivel (4 szerszám), egy-egy munkás pedig a vezérsík bal és jobb oldalának, és a szárnyvégek szerszámaival (4–4 szerszám). A rétegrend felépítésével a hőkezelőbe viszik a szerszámokat.

A következő munkafázisban két munkás a szárnyak szerszámainak nyitását koordinálja és eltávolítja a szárnyakat a szerszámokból. Majd a szárny feleken kialakítandó nyílásokon dolgoznak. Egy munkás dolgozik a motorgondola szerszámain (8 szerszám), eltávolítja a hátsó részt a szerszámokból, kialakítja rajtuk a szükséges nyílásokat, a motorgondola elülső részekbe beragasztja az első körben ragasztható alkatrészeket. A negyedik munkás a vezérsík, a vezérsík záró elem, és a szárnyvég szerszámokkal foglalkozik (8 szerszám). A vezérsík-és szárnyvégeket eltávolítja a szerszámokból, a vezérsík alsó szerszámokba pedig beragasztja a ragasztandó alkatrészeket.

A következő napon, egy munkás a törzs fedeleit szereli a törzsre egy másik munkás a törzsbe építendő vezérlő elektronikát helyezi el a törzs elülső részében, majd összekapcsolja azokat a kábelköteggel, majd teszteli a működésüket. Egy munkás a motorgondola elülső rész felső szerszámaiba beragasztja az utolsó alkatrészeket, majd az alsó szerszámokból eltávolítja a motorgondola alsó részeket és kivágja a szükséges nyílásokat. A negyedik munkás a vezérsíkok alsó részeiben rögzíti a kábeleket, majd szerszámokat zárja össze. Miután ezekkel végzett a szárny felekre zsanérozza a csűrőlapokat és a féklapokat majd beragasztja a szervótartókat (a szervókat előzetesen beszerelte a tartókba).

A következő fázisban a szárny feleken 1–1 munkás dolgozik, beszerelik a futóműveket, felragasztják a motorburkolat elülső részének alsó és felső elemeit, összekapcsolják a szervókat a csü-



rőlapokkal és féklapokkal, visszahelyezik a kivágott fedőlemezeket, és felragasztják a szárnyvégeket. Egy munkás kinyitja az összezárt vezérsík szerszámokat, eltávolítja, a kész vezérsíkokat kialakítja a szükséges nyílásokat, zsanérozza a kormányfelületeket, beragasztja a szervótartókat és a vezérsík záró elemeket. A negyedik munkás a motorokat készíti fel a későbbi beszerelésre.

A következő munkafázisban a vezérsík fedőlemezek a helyükre kerülnek. Az egyes részegységek (törzs, szárny vezérsíkok) elektronikáját a végső összeállítás előtt külön-külön is tesztelik. Ebben a fázisban van lehetőség az egyedi festés elkészítésére. Végül a teljes repülőgép összeszerelhető és el kell végezni a teljes rendszer tesztet, és fel kell készíteni a repülésre.

### *A repülőgép összeállítása és tesztelése*

A repülőgépet a teljes összeállítás céljából próbapadra kell helyezni. Elsőként a törzs kerül próbapadra, majd a törzsben kialakított chesterton fészken keresztül vezetjük a chestertont. A következő lépésben a bal, majd a jobb oldali szárnyat csatlakoztatjuk a chesterton és a tájoló csapok segítségével, a szárnyakat ütközésig toljuk. Végül a vezérsíkok kerülnek felhelyezésre, ezt segíti a tájoló csap és a multiplex csatlakozó. Az elektromos egységek csatlakoztatása után ellenőrizni kell a súlypont helyzetét, majd az akkumulátor behelyezésével áram alá helyezzük a gépet, és távirányító segítségével teszteljük az egyes szervók, a futómű vezérlő, és a motorok működését, majd programozzuk az említett egységeket. A programozás során beállított értékeket átvesszük a robotpilótába. A robotpilóta csak a műszaki leírásában leírtak szerint programozható.

A berepülés feltételei a következők: bizonyítani kell, hogy a repülőgép a biztonságos repülésre alkalmas. Ehhez szükségesek az aerodinamikai és mechanikai számítások. A repülés előtt terhelési vizsgálatokat kell végezni a repülőgép szárnyain, kormányfelületein, a futóműveken és a motorbekötéseken. El kell végezni a súlypont mérést és összevetni azt annak ideális helyzetével. Tesztelni kell a kormányfelületek és féklapok kitérését és be kell járatni a motorokat. A légcsavarokat ellenőrizni kell, és ha szükséges, kiegyensúlyozni, majd tolóerőt kell mérni.

A programozás és az elektromos egységek tesztje után kerülhet sor a berepülésre. A berepülés csak megfelelő, erre a célra kijelölt helyen és időben történhet. Ekkor nem csak a pilóta nélküli repülőgép repülési tulajdonságait, hanem a vezérlés és a robotpilóta által elérhető összes képességét is tesztelni kell, továbbá fontos a különböző vészhelyzetek szimulálása is. A berepülés során mindvégig meg kell hagyni az emberi beavatkozás lehetőségét. A berepülést csak képzett és gyakorlott pilóta végezheti. A berepülés során megadott számú fel- és leszállást kell teljesíteni, és a különböző repülési feladatokat is többször kell végrehajtani.

A repülőgép tömege üresen 43 kg a meghatározott felszálló tömege 75 kg. A repülőgép a nagy rendelkezésre álló motorteljesítmény miatt túlterhelhető. A saját központi üzemanyag tartályába 24 l kerozin tölthető ez 20 kg terhet jelent. A feladat típusától és a szállítandó teher függvényében kell meghatározni, hogy mennyi kerozint kell betölteni. Amennyiben a feladat csak a fixen rögzített gimbal kamerát igényli, úgy a raktérben rögzíthető üzemanyagtartályba további 24 l kerozin tölthető, ezzel kitolva a hatótávolságot és a repülési időt. Az összeállított repülőgép látható a 13. ábrán.



13. ábra Az összeállított repülőgép

### Továbbfejlesztési lehetőségek

A repülés biztonságosabbá tételének érdekében a robotpilóta programját bővíteni lehet egy most fejlesztés alatt álló ALOFT (Autonomous Locator of Thermals) szoftverrel. A szoftver segítségével a repülőgép képes lesz a felfelé áramló meleg levegő, az úgynevezett termik források felismerésére és kihasználására. A felismert termik forrásokat képes koordináták alapján raktározni, és ha legközelebb ugyanazon az útvonalon repül, akkor az útvonalat már az elraktározott termik források alapján optimalizálja. A tesztek során öt órás repülési időt értek el hajtómű nélkül, csak az ALOFT szoftver használatával. A szoftver részletes leírása megtalálható a források között. Mivel a most ismertetett repülőgépnek vitorlázó szárnyai vannak, így a motorok leállása esetén képes lehet a szoftver segítségével biztonságos terep fölé vitorlázni, majd leszállni.

A repülőgép tervezésének kezdetén felmerült a katapultos indítási lehetőség, ám az üzemanyag-befogadó kapacitása miatt ezt elvetettük. Azonban alkalmazásától függően fennállhat az igény az ilyen módon történő indítására. Az Arcturus UAV Portable Launching System (PLS) által tervezett rendszer, és az általunk tervezett repülőgép kis módosítással alkalmassá tehető az erről a PLS rendszerről való indításra. A céggel történt telefonos beszélgetés során magyarázták el a szükséges módosításokat. [Arcturus UAV].

A repülőgép szenzorokkal történő felszerelésével a repülő képes lehet érzékelni a saját távolságát a közelébe kerülő tereptárgyaktól, objektumoktól. A szenzorok csatlakoztathatóak a robotpilótához.

A repülőgép éjszakai láthatósága növelhető ledek segítségével. A ledet a repülőgép szárnyvégein és a törzs végén kerülnének elhelyezésre, és mint a valódi repülőgépek esetében, megadott sorrendben villannának fel.

A repülőgép törzsének és a szárny felső részének napelem cellákkal borítása. Ezzel az elektromos egységek áramigénye fedezhető lehet. Ennek ellenére akkumulátorra továbbra is szükség van az éjszakai, vagy rossz időben történő repülések alkalmával.

A gimbal kamera behúzhatóvá tételével, a repülőgép kényszer leszállása esetén megvédhető a kamera.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Hollandi Marcell Diplomamunka: Pilóta nélküli repülőgép tervezése és gyártása, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2016

---

### UAV MANUFACTURING

---

*Nowadays, the way of using an Unmanned Aerial Vehicle is developing. In this article we introduce a new multirole UAV. The article will review the UAV's most important features and it's possible way of usage. We explain the recently used manufacturing technologies in UAV processing and explain the expanded UAV's production designing. You can read about how we choose the manufacturing method for the specified production number. You can also read about the tools which are necessary for the production of composite parts. In this article we explain the production method of the composite parts, and the assembling method of the aircraft. In the last part of this document you can read about possible developments for the designed UAV.*

**Keywords:** UAV, processing, multirole, composite parts, assembly, development

---

Hollandi Marcell (MSc) Gépészmérnök Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Gyártástudomány és Technológia Tanszék hmarcell026@gmail.com orcid.org/0000-0003-1565-0041	Marcell Hollandi (MSc) Mechanical engineer Budapest University of Technology and Economics Faculty of Mechanical engineer  hmarcell026@gmail.com orcid.org/0000-0003-1565-0041
Kutrovác Lajos mester oktató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és -technológia Tanszék kutrovac@manuf.bme.hu orcid.org/0000-0001-8959-472X	Lajos Kutrovác master teacher Budapest University of Technology and Economics Department of Manufacturing Science and Engineering kutrovac@manuf.bme.hu orcid.org/0000-0001-8959-472X
Simon Sándor (MSc) okl. gépészmérnök, repülőgépész Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály Repülőműszaki Felügyeleti Osztály, osztályvezető simon.sandor@hm.gov.hu	Sándor Simon (MSc) mechanical & aeronautical engineer Ministry of Defence State Aviation Division Airworthiness & ATC Department, head of dept. simon.sandor@hm.gov.hu



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017\\_2/2017-2-20-0373\\_Hollandi M-Kutrovacz\\_L-Simon\\_S.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_2/2017-2-20-0373_Hollandi M-Kutrovacz_L-Simon_S.pdf)

