



1. ábra. Protar légvédelmi célrepülőgép
(Forrás: Genevation)

Dr. Farkas Csaba, PhD* – Nagy Attila** – Csák Attila***

A Protar légvédelmi célrepülőgép fejlesztése Magyarországon I. rész

A LÉGVÉDELMI CÉLANYAG FEJLESZTÉSÉNEK SZÜKSÉGE

A repülőipar egyik leggyorsabban fejlődő területe világviszonylatban a pilóta nélküli légi járművek alkalmazhatóságának kiterjesztése a minél szélesebb körű civil és katonai felhasználhatóság érdekében. Annak ellenére, hogy Magyarországon alig tucatnyi hazai tulajdonú vállalat végez ilyen tevékenységet, a jövőben megteremthetjük e szakterület magas szintű műveléséhez szükséges korszerű technológiák, és a megfelelő háttértudás nemzetközi szinten is értékesíthető piacának alapjait. A hazai drónipar egyik legsikeresebb, ugyanakkor kevésbé – lényegében csak a szakmai körök által – ismert területe a katonai felhasználá-

sú pilóta nélküli célrepülőgépek fejlesztése és gyártása. A haderők légvédelmi csapatai számára a speciális célból alkalmazásra kerülő célanyag mindig is fontos szerepet töltött be – bár a jövőben új kihívásoknak kell megfeleljenek –, alkalmazásuk nemcsak célszerű, hanem nélkülözhetetlen is. Magyarországon a METEOR típuscsalád (2. ábra) hosszú időn át segítette a légvédelmi alegységek felkészítését, harckészültségük magas szinten tartását.

A dróniparban zajló rohamos fejlődés, továbbá a Magyar Honvédségnél folyamatban lévő Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program során rendszeresítésre kerülő új eszközök együttesen szükségessé teszik egy alapjaiban új, a METEOR típusokhoz képest magasabb képességekkel

ÖSSZEFOGLALÁS: A katonai célú pilóta nélküli repülőeszközök, széleskörű alkalmazási lehetőségeik miatt a jövőben jelentős szerepet fognak betölteni a különböző nemzetek haderőiben. A felhasználói terület robbanásszerű növekedés előtt áll, előrejelzések szerint elérkezhet az idő, amikor a fedélzeten helyet foglaló pilóta alkalmazására már nem lesz szükség. Magyarországon a Magyar Honvédség Modernizációs Intézete, a Rotors & Cams Zrt. és a Genevation Aircraft Kft. égisze alatt világviszonylatban is különleges pilóta nélküli repülőeszköz fejlesztési program zajlik.

KULCSSZAVAK: katonai, pilóta nélküli, célanyag, repülőeszköz, Protar, Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program

ABSTRACT: Application of military specified unmanned aerial vehicles in the future will be notable in state operator due to wide range of applications. The operational potential of that kind of vehicles is growing fast, according to the prognosis the pilots in the cockpit will not be justifiable. The based on the Hungarian Defense Forces Modernization Institute, the consortium of Rotors & Cams Plc. and Genevation Aircraft Ltd. launched a significantly development program to create a special unmanned aircraft.

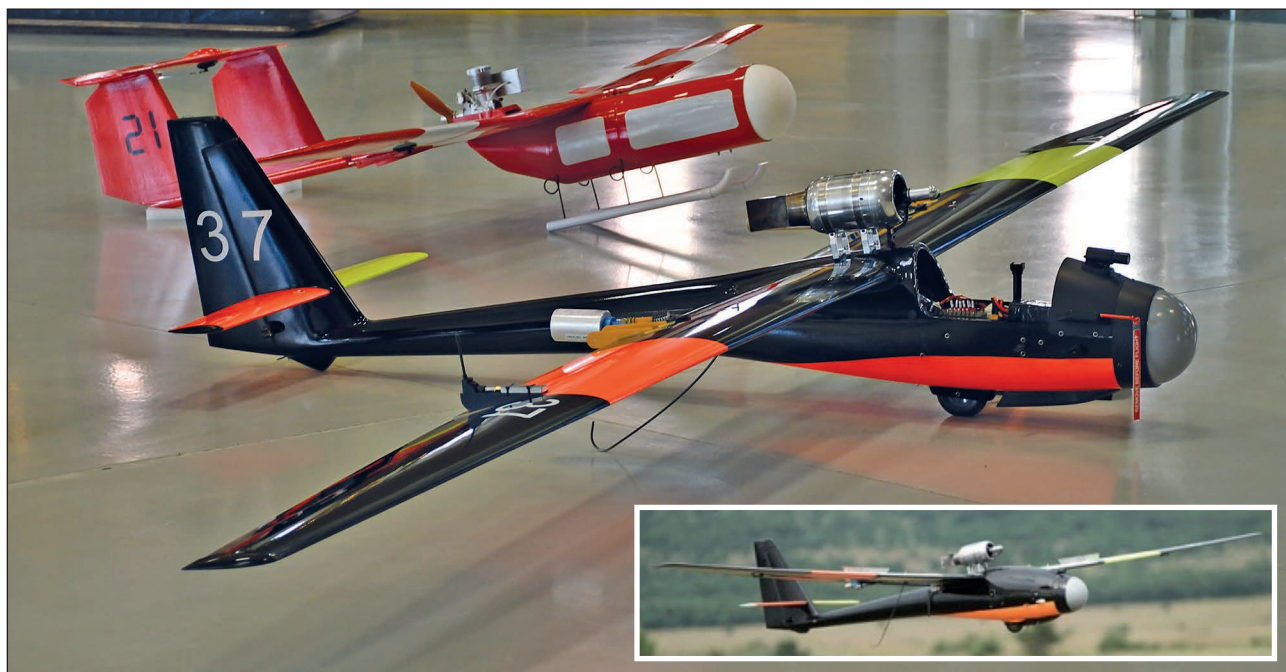
KEY WORDS: military, unmanned, TARGET-UAV aerial vehicle, Protar, Defense and Armed Forces Development Program

* A Protar-fejlesztés felelős tervezője, Genevation Aircraft Kft. Műszaki igazgató. ORCID: 0000-0001-9564-8026

** A Protar-fejlesztés felelős tervezője, Rotors&Cams Zrt. Műszaki igazgató. ORCID: 0000-0002-7398-7112

*** Órnagy, Protar projektvezető, MH Modernizációs Intézet. ORCID: 0000-0003-0982-1721





2. ábra. METEOR 3MA gázturbinás pilóta nélküli repülőgép. A 2019-ben felújított, repülőeszköz 2021-ben került a RepTár Szolnoki Repülőmúzeumba (Fotók: RepTár Szolnoki Repülőmúzeum; [1])

rendelkező légi jármű-rendszer alkalmazását. A Magyar Honvédség szakállománya megvizsgálta a bérlés, a beszerzés, valamint a fejlesztés lehetőségeit. A vizsgálat eredményeként a Magyar Honvédség Modernizációs Intézete egy hazai fejlesztési projektet indított a korábban megszerzett tudás, és az üzemeltetési tapasztalatok alapján. Hazai környezetben is adott a képesség arra, hogy a nemzetközi összevetésben is magas színvonalú pilóta nélküli célrepülőgép fejlesztése költséghatékonyan, alacsony kockázattal, magas hozzáadott innovációs értékkel jöjjön létre. A szükséges jóváhagyások megszerzése és az előkészítési munkák után a kutatás-fejlesztési projekt megindult, és napjainkban is tart. A műszaki követelmények meghatározása az új légvédelmi rakétarendszerek képességeit figyelembe véve, valamint a szektorban elérhető versenyképes eszközök paramétereit alapján történt. A célrepülőgép létrehozását és a hozzá kapcsolódó, az üzemeltetéshez szükséges eszközrendszer fejlesztését a Magyar Honvédség Modernizációs Intézet felügyelete alatt a hazai Rotors & Cams Zrt. és a Genevation Aircraft Kft. végzi.

MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓK ÉS ALKALMAZÓI ELVÁRÁSOK

Alapvető követelményként került megfogalmazásra egy olyan merevszárnyú, gázturbinával hajtott, pilóta nélküli repülőgép létrehozása, amelynek indítása földi telepítésű, a mindenkori széliránynak megfelelően pozícionálható, egyenetlen talajú és kedvezőtlen környezeti terepviszonyú munkaterületről katapult alkalmazásával történik. Amennyiben a művelet jellegéből adódóan a céleszköz nem kerül megsemmisítésre, annak földet érése ejtőernyővel történik. Funkciójából eredően az eszköznek biztosítania kell a földlevegő fegyverrendszerek által alkalmazott harc- és tűzvezető elemek, szenzorok és a különböző típusú rakéták számára agresszor szerepkört betöltő légi imitációt. A repülőgép formai kialakítására vonatkozóan nem voltak kötött előírások, csupán a geometriai méretek kerültek behatárolásra, amely alapján a szárnyfesztáv-, a hosszúság- és

a magasságértékek felső határait maximalizálták. Üzemeltetési feltételek alapján a fejlesztett eszköznek meg kell felelnie a repülési sebességek, a csúcsmagasság, a terhelhetőség, a hasznos terhelés, a hatótávolság és az üzemidő vonatkozásában is. További üzemeltetési elvárás volt a teljesen autonóm és/vagy könnyített manuális üzem vészhelyzet esetére, az operátoros irányíthatóság mobil földi állomásról. A kiszolgáló rendszernek biztosítania kell a távfelügyeletet a vezetési pontról, amely alapján a repülési adatok és az útvonal megjeleníthetők, nyomon követhetők. Ennek értelmében a rendszernek képesnek kell lennie a két adathalmazt olyan formában kialakítani és tárolni, hogy megfelelő fogadóállomás esetén az továbbítható legyen. A távoli vezetési pont fejlesztése nem része a projektnek. Természetesen a gép nyomon követése biztonsági, titokvédelmi szempontból nem hajtható végre bárki által, az adattovábbítás nem történhet nyílt hálózaton. A rendszer egyik különlegessége, hogy egyidőben akár három céleszközt is képes irányítani úgy, hogy azok kötelékrepülést hajthatnak végre. A kötelékrepülés során a légi járművek elkülönítési értékei a légvédelmi feladathoz, az adott repülési profilhoz igazítva szabadon paraméterezhetők. A repülésbiztonságot szem előtt tartva lényeges, hogy a pilóta nélküli célrepülőgép a biztonságos üzemet befolyásoló tényezők, hibajelenségek automatikus azonosítására és hibajavításra legyen képes. Vészhelyzetben, amikor a fedélzeti rendszer a repülési feladat folytatását kockázatosnak ítéli, automatikus vészhelyzeti eljárásnak kell lefutnia, amely eredményeként az adott helyzethez igazodó, repülést megszakító eljárás kerül alkalmazásra. Az abnormalis, illetve a veszélyesnek ítélt helyzetek kezelésében a légi jármű operátorainak is szükséges beavatkozási lehetőséget biztosítani. Ennek érdekében, a földi irányító állomáson a repülési paramétereken túl, a vészhelyzetek menedzseléséhez szükséges adatokat szöveges és hangos üzenetek formájában is meg kell jeleníteni. A 2021. év elején életbe lépett szabályozás [2] a fejlesztés alatt álló célrepülőgép kategóriájába eső pilóta nélküli légi járművekre előírja egy, a rendszertől teljesen független, ún. Flight Termination

Modul integrálását, így jelenleg ez a modul is a fejlesztés tárgyát képezi. A rendszer másik különlegessége a katalpult, amely a felhasználói igényeknek megfelelően több légi jármű gyors, egymást követő indítását (kilövését) biztosítja. A szokványos – pneumatikus és gumiköteles – eljárások ezt az igényt egyáltalán nem, vagy csak kompromisszumok árán támogatják, így a fejlesztés ezen fázisa is komoly kihívások elé állította a fejlesztőket.

FORMATERVEZÉS ÉS AERODINAMIKA

A légi járművet fejlesztő munkacsoport a meghatározott és elvárt követelmények vonatkozásában a NATO STANDARD AEP-83 Light Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements Edition A Version 1 [3] a könnyű, pilóta nélküli légi jármű-rendszerek légi alkalmassági követelményeiről szóló AEP-83 NATO-szabvány [3] előírásrendszer figyelembe véve kezdte el a formavilág és az ahhoz szorosan kapcsolódó aerodinamika kialakítását. Aerodinamikai szempontból két sebességadat határozta meg a koncepció kialakítását. Egyfelől a földi indítóberendezés $v_{rel} = 120$ km/h kilövési sebességre gyorsítja a rendszert, másfelől a maximális repülési sebességnek legalább $v_{max} = 360$ km/h-nak kell lennie. Bár a követelmények alapján a légi jármű meghajtása gázturbinával történik, a forma kialakításánál figyelembe kellett venni, hogy egy jövőben jelentkező felhasználói igény esetén, a gépbe robbanómotorral meghajtott légszavaros meghajtású rendszer is beépíthető legyen. Az

előtervezés során a munkacsoport a konvencionális geometriai elrendezéstől kezdve, a delta-kacsán keresztül a teljes deltaszárny kialakításokig, több koncepciót is megvizsgált. A hagyományos szárny- és vízszintes vezérsík elrendezést azért kellett elvetni, mert kedvezőtlen terepen történő földet érés esetén – az irányfelületek elrendezéséből adódóan – a konstrukció olyan mértékű sérülést szenvedhet, amelynek terepi körülmények közötti javítására nincs mód. A már említett delta-kacsa és teljes deltaszárny diszpozíciók formatervezése és aerodinamikai elemzésük hónapokon keresztül párhuzamosan zajlott, felsorakoztatva pro és kontra érveket. Mindkét esetben a kiinduló prezumpció (feltevést) a $v_{rel} = 1,3 \cdot v_{min}$ felszálló-, és átesési sebesség közötti kapcsolat jelentette. Abból kellett kiindulni, hogy a kilövés biztosította kötött felszállósebességből származtatva mekkora átesési sebesség adódik, és ahhoz mekkora méretű szárnyfelületre, és milyen alkalmazásra kerülő szárnyprofilra van szükség. Ez a normál repülőgéptervezési gyakorlattal antitetikus (ellentétes), amely így magában hordozhatja egy esetleges szerkezeti túlméretezés lehetőségét is, erre a fejlesztés során tekintettel kellett lenni. Az egyetemes módszer szerint a megépítés céljából tervezett repülőgép átesési sebességét az ahhoz tartozó geometriai adatok szerint határozzák meg:

$$v_s = \sqrt{\frac{2G}{\rho \cdot C_L \cdot A}} \quad (1)$$

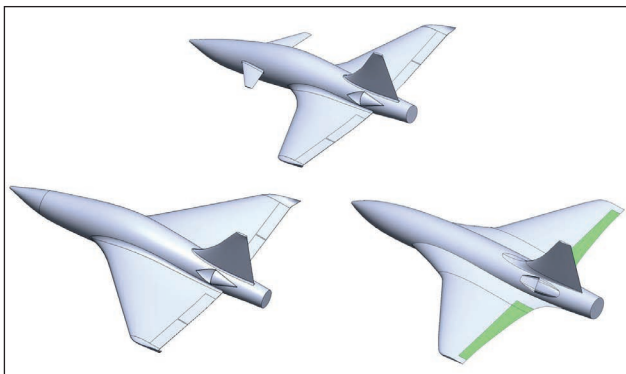
ahol: $G \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$ – a légi jármű maximális repülési tömege,

$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ – a közeg sűrűsége,

C_L – a szárnyprofilra érvényes felhajtóerő tényező.

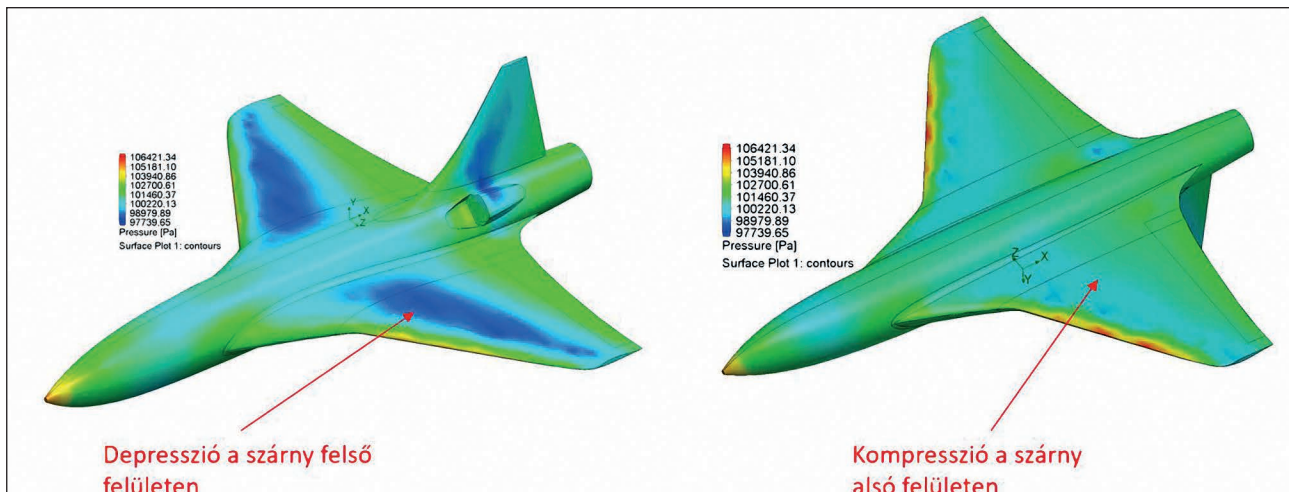
$A \left[\text{m}^2 \right]$ – a szárny felhajtóerőt termelő összes felülete – összefüggés felhasználásával. [4]

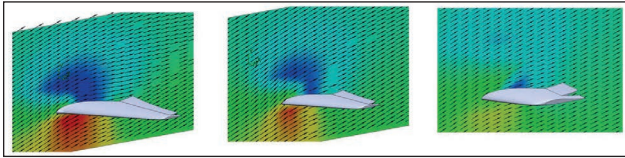
Ez a szélső, alsó feltétel eredményezi a biztonságos felszállósebességet a két érték közötti arány figyelembevételével. A tervezés során a jelentkező ametriát (aránytalan-ságot) CFD- (computational fluid dynamics – számítógéppel végzett áramlástan szimuláció) az eljárás során iterációkkal igyekeztünk kezelni, továbbá elemeztünk többféle szárnyprofil-kialakítást. A három konfiguráció: a delta-kacsa és a teljes deltaszárnyú formaterv jelentősen eltér egymástól, ez utóbbiból két különböző geometriai változat is készült. (3. ábra) A zöld színnel jelölt irányítófelületű változat került megépítésre, ennek deltaszárny-kialakítása ún.



3. ábra. Az elkészült formatervek CAD számítógépes programmal készült modelljei (A szerzők szerkesztése)

4. ábra. A Protar forma CFD aerodinamikai vizsgálata a tervezés fázisában (A szerzők szerkesztése)





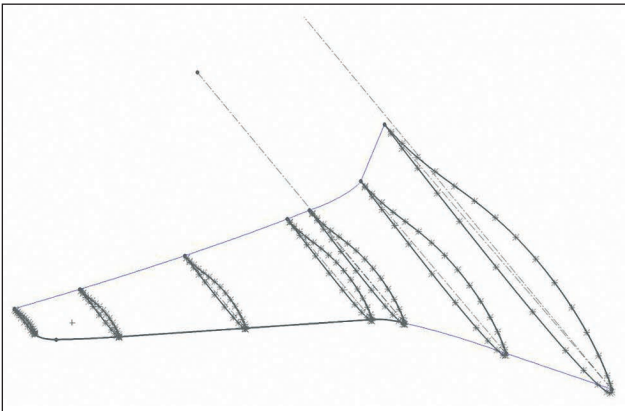
5. ábra. Protar kormányfelület CFD aerodinamikai vizsgálata a tervezés fázisában (A szerzők szerkesztése)

cranked arrow (hajlított nyíl alakú) változat. Jellegzetessége, hogy a belépőél duplán tört, a kilépőél ívelt kialakítású. Ezek a geometriai formák biztosítják a szárny aerodinamikai középpontjának (aerodynamic center – AC) hátrébb tolását, ezáltal az SM (static margin – statikus stabilitás mérőszáma) -érték növelését.

A profil kiválasztásánál különösen lényeges szempont volt a $v < 100$ km/h alatti repülési tartományban kedvező, kis repülési sebességű aerodinamikai karakterisztika biztosítása. A már említett kedvező, kis sebességű repülési tulajdonságok mellett, egy a követelményeknek eleget tevő diszjunkciót (ellentétet) is figyelembe kellett venni. A tervezőktől a profil kialakításakor elvárt igény, hogy igény, hogy nagyobb repülési sebességek esetén $v > 360$ km/h az ellenállási tényező csökkentése, és a szárny nyomatóki tényező minél kisebb értéken történő tartását is biztosítsák. A már említett CFD-eljárások alkalmazásával, (4. és 5. ábra) több profilkialakítás vizsgálata után, került kiválasztásra egy kevert, aszimmetrikus profilrendszer.

Több aerodinamikai iterációt követően jutottunk arra az álláspontra, hogy aerodinamikai, és egyben geometriai szempontok szerint elcsavart profil célszerű alkalmazni. A szárnyprofil szerkesztésekor (6. ábra) a repülőgép hossz tengelyében alkalmazásra kerülő „elméleti” tőprofil és a szárny törővégén használt profil eltérnek egymástól. A kettő között több helyen a geometria megfelelő „simítása” céljából keverékprofilok alkalmazására volt szükség. Az így kialakuló aerodinamikai effektív geometria társított rendszerű, amelynek elméleti tőprofilja nagyobb beépítési szögben került pozicionálásra a hossz tengelyhez képest. A szárnygeometria és az alkalmazott profil vonatkozásában több kedvező szempont teljesül. A szárny duplán nyílazott, ez kifejezetten fontos csupaszárny, vízszintes vezérsíkkal nem ellátott repülőgép esetén, hiszen a szárny AC-pontja hátrafelé tolódik. A szárny geometriai szempontból csavart (a szárnytőben nagyobb beállítási szög kerül alkalmazásra, mint a szárny végén), így az indukált ellenállás kedvezőbb, növekszik a vízszintes repülési sebesség. Emellett a tőprofil hamarabb esik át, mint a végprofil, így a

6. ábra. Protar szárnyprofil szerkesztése CAD tervezőprogrammal (A szerzők szerkesztése)



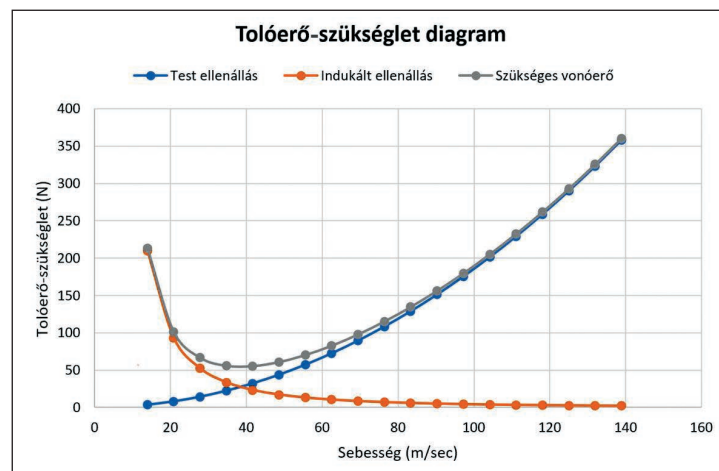
kormányzás kis sebességen is aktív marad. Ez a körülmény kedvező a lebillenés ellen, és iránystabilitás szempontjából is. A szárny aerodinamikai szempontok szerint is elcsavart, a szárnytőben olyan profilt alkalmazunk, amely kis sebességű repülés esetén kedvező, míg a szárnyvégen nagyobb repülési sebességtartományra optimalizált profil dolgozik, a kettő szinergiája biztosítja a széles sebességtartományban történő alkalmazhatóságot.

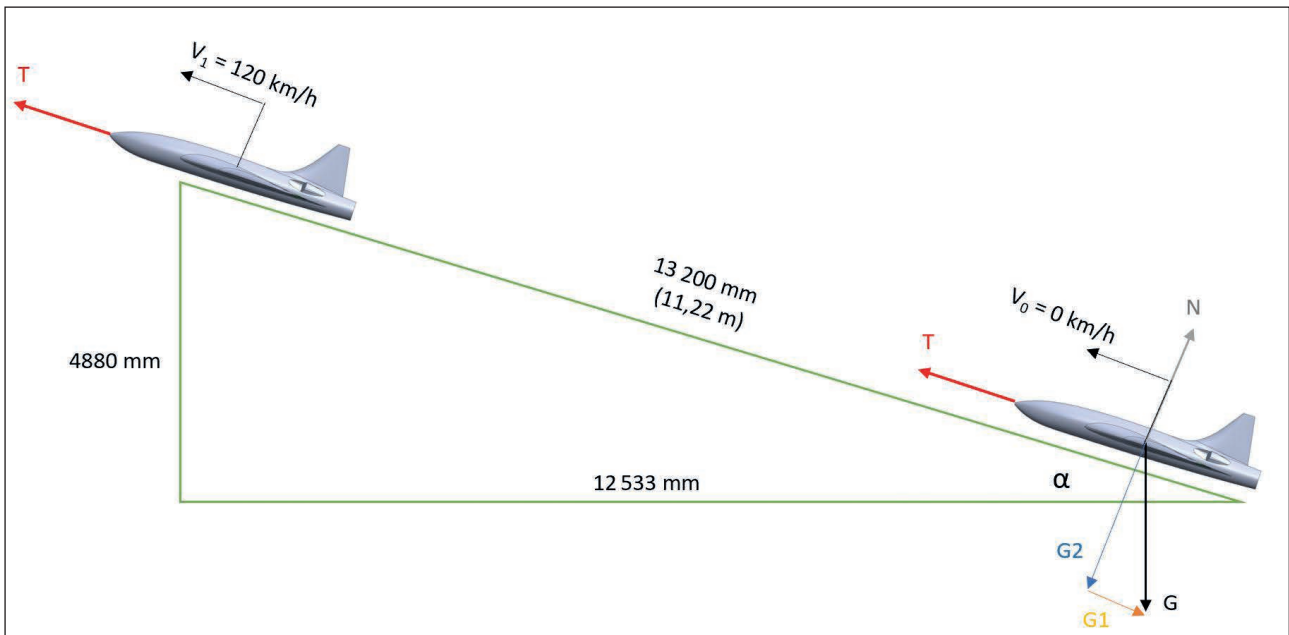
A munkacsoport tagjai a tervezés során végzett kalkulációkból arra a következtetésre jutottak, hogy a stabilitás, a kormányzási hatásosság és az aerodinamikai jellemzők figyelembevételével a delta-kacsa elrendezés alkalmazása a legcélszerűbb, de a mérnökök végül ennek a prototípusnak a megépítését elvetették. Ennek oka, hogy a kacsaszárny, mint kiálló felület a földet éréskor sérülékeny lehet, másfelől a tervezés során, még fejlett számítógépes szimulációs eszközöket felhasználva sem volt lehetőség annak megbecslésére, hogy a visszatérítő ernyő nyitásának pillanatában az ernyő zsinórzata összeakad-e a kacsaszárnyal.

KONSTRUKCIÓ ÉS A RENDSZERTERVEZÉS INTEGRÁCIÓJA

A forma és az aerodinamika kialakítását követően az elméleti súlypont, és ahhoz kapcsolódó tartományok meghatározása következett, amelynek során meg kellett határozni a repülőgéptest vonatkoztatott koordináta-rendszerét és az abban elhelyezkedő rendszerlemek elvi pozícióját a hozzájuk tartozó tömegeikkel. A CG (centre of gravity – tömegközéppont) -helyzet, és annak tartománya az AC-pont figyelembevételével került véglegesítésre, ami meghatározza a stabilitást is. A rendszerek kialakítását, és azok elemi pozícionálva az addigi anyagi pont mechanikai vizsgálatát felváltotta a rendszer dinamikai vizsgálata, amely modellel már teljesítménykalkulációkat is lehetett végezni. Meghatároztuk a repülőgép teljesítménypolárisát, úgymint a teljesítményszükséglet (7. ábra), üzemidő, hatótávolság, várható tüzelőanyag-felhasználás, emelkedőképesség, nevezetes sebességértékek, sebesség-terhelés görbe (ún. v-n gráf), továbbá a katapulttal történő indítás (8. ábra) mechanikai erőviszonyai, a gyorsítási hatás eredményezte terhelési érték és a repülőgéptesten fellépő lokális erő komponensei. Többszöri ellenőrzést, validálást és rendszertervezést követően a (9. ábra) szerinti viszonylagos tömegeloszlással definiált integrációeloszlást a munkacsoport elfogadottnak tekintette, és a repülőgép elméleti ter-

7. ábra. Protar tolóerő-szükséglet meghatározása grafikai függvényben ábrázolva (A szerzők szerkesztése)





8. ábra. A Protar katapultindítás elméleti erőviszony és geometria ábrája (A szerzők szerkesztése)

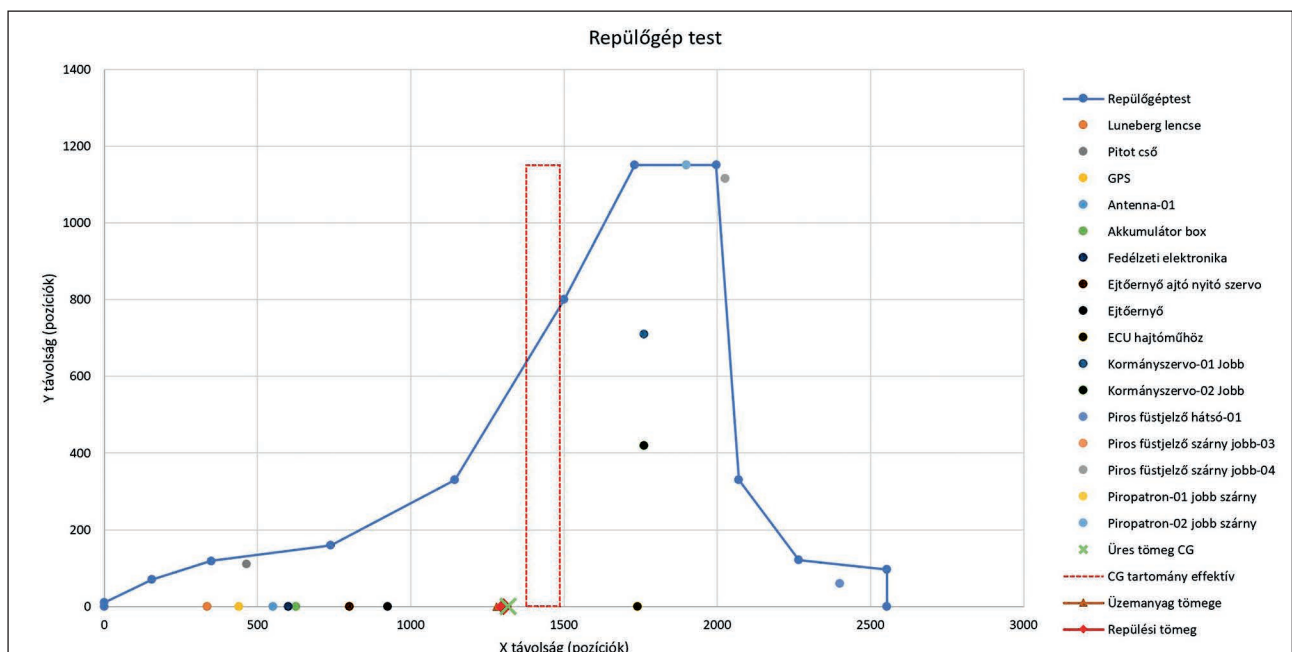
vezését befejezte. Következő lépésként a formafelület belső szerkezetének kialakítása következett.

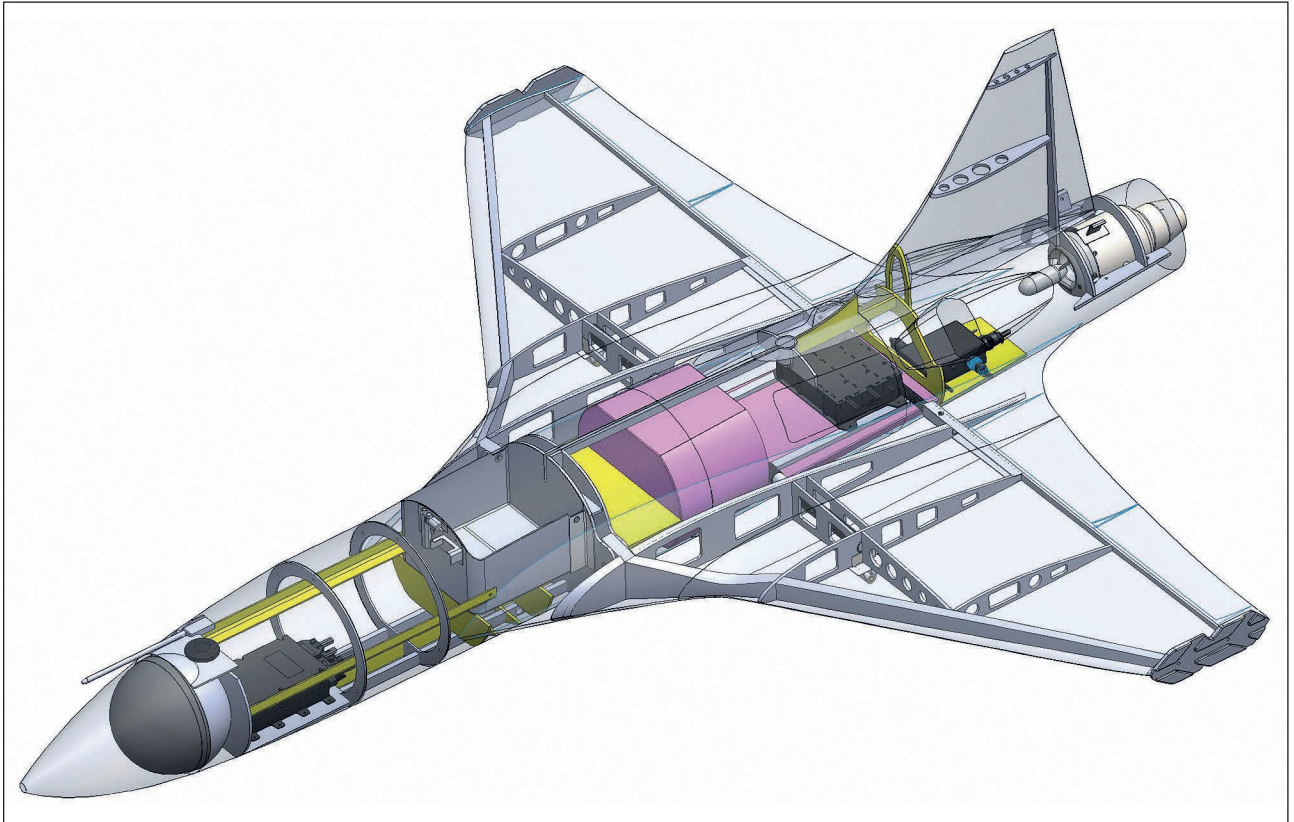
A munkacsoport a rendszerelemek tömeg- és térfogatadatainak ismeretében hozta létre a 10. ábrán látható belső szerkezeti elem-struktúrát, amely a repülőgép szilárdsági megfelelőségét biztosítja, egyfelől ellenáll a gépet érő aerodinamikai és földi terheléseknek, másfelől a centrolán részbe transzformálja a külső erőkből származó belső feszültségeket.

A sárkányszerkezet kialakítását úgy tervezték meg, hogy az kompozit gyártástechnológiai eljárással készüljön, alapvetően karbon-kevlár laminátum rendszerrel. A konstrukción belül, ahol az inerciaviszonyok igénylik a nagyobb vastagságot, cellás szerkezetű maganyag is beépítésre kerül.

A törzs és a szárny felépítése is héjszerkezet kialakítású, amelynek merevségét a külső borítás (maga a héj) adja, több helyen belső elemekkel, főtartókkal és bordákkal megtámasztva. Azok elsődleges célja a héj kihajlásának gátlása és a légerők felvétele, majd átadása a törzsnek. A szárny két félrészből áll, a függőleges vezérsíkkal egy központi egységet képez. A félszárnyak leszerelhetők, így a repülőgép szállítása szétszerelt állapotban könnyen megoldható. A félszárnyak két főtartós kialakításúak, a főtartók bekötései a törzshöz csapokkal, csavaranya rögzítéssel csatlakoznak. A két félszárnyat egy központi (mellső) és egy segéd (hátsó) közösítő (ún. cseszterton) csap-hüvely integráció köti össze egymással, amelyek biztosítják a szárny és törzs statikai határozottságát. A központi hüvely

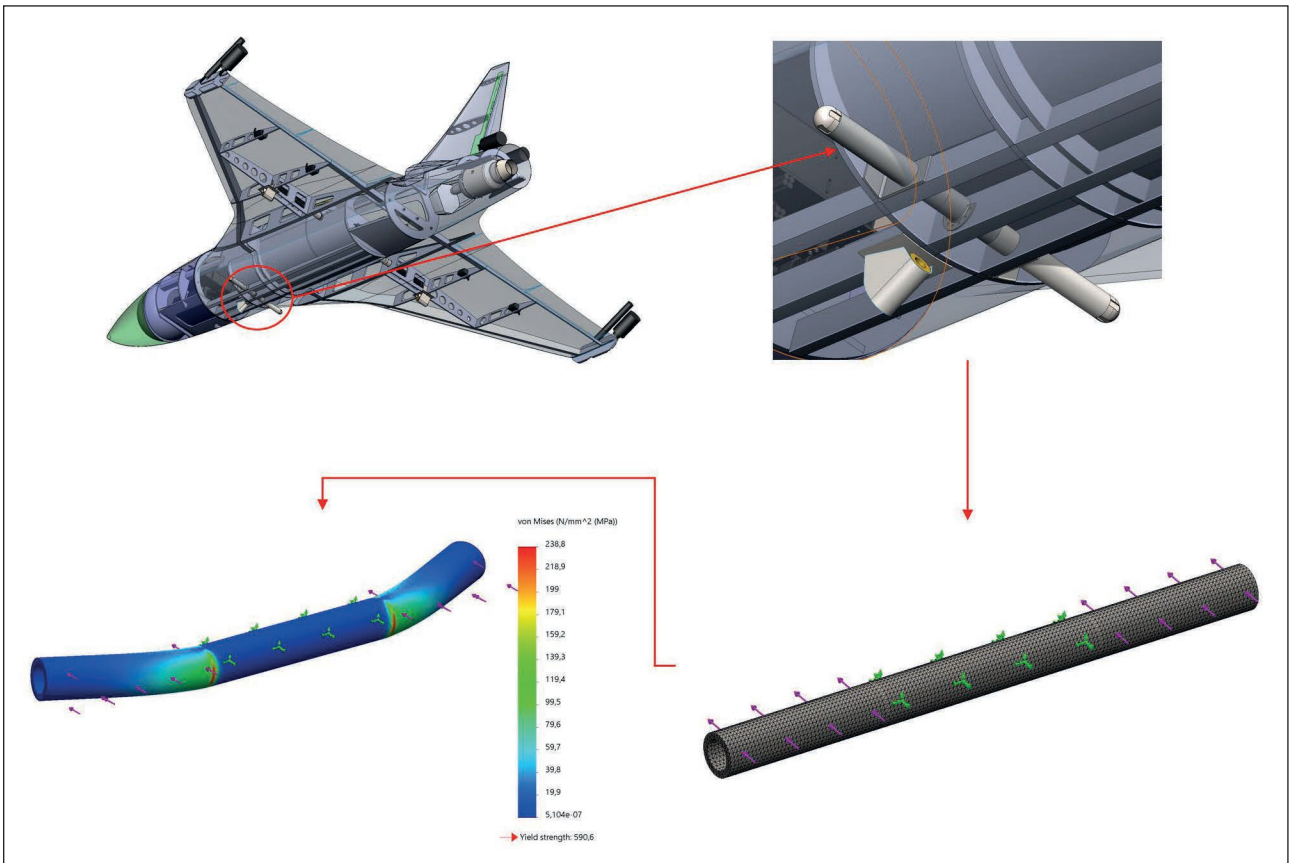
9. ábra. Protar rendszerelemek elhelyezése és CG-kalkuláció (A szerzők szerkesztése)





10. ábra. A Protar szerkezeti kialakítása a főbb rendszerelemekkel (A szerzők szerkesztése)

11. ábra. A Protar katapult támasztó-rögzítő karjának szilárdsági ellenőrzése FEM-módszerrel (A szerzők szerkesztése)



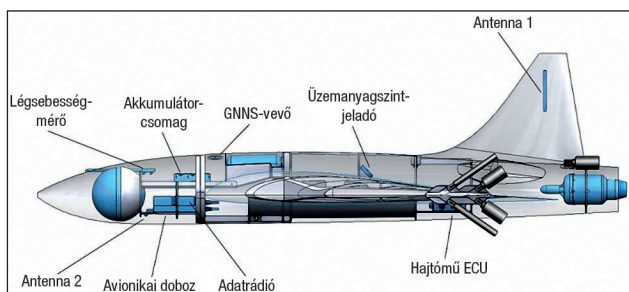
erőhatásvonala a mellső központi főtárhoz fut ki, így garantálva a terheléstranszformációt a legfontosabb szerkezeti elembe. A szárnyon belül három borda található, ezek közül a csavarásnak kitett kritikus többorda C kialakítású, a másik két segéd-borda síklap panel. A szárny kilépőlein kerültek elhelyezésre a servo vezérlésű, elevon-rendszerű kormánylapok. A törzsbe az avionikai, elektronikai és hajtásrendszer elemei szerelvényilásokon keresztül építhetők be. A rendelkezésre álló tér biztosítja a berendezések könnyű rögzíthetőségét, csapatkörülmények közötti gyors cseréjét. A tervezés során a kritikus szerkezeti elemek szilárdsági ellenőrzését a munkacsoport FEM (finite element method – számítógép alapú végeselem módszer) alkalmazásával végezte. Az eljárásra példa a 11. ábrán látható, a repülőgép belső kompozitszerkezetébe beágyazott, ötvöztött acélcső végeselemhálója és a terhelőerők hatására fellépő feszültségeloszlási kép a maximális feszültségértékkel. Ez a terhelés a katapult támasztó-rögzítő karján ébred.

FEDÉLZETI ELEMELK, VALAMINT A REPÜLÉSTÁMOGATÓ ÉS -KISZOLGÁLÓ RENDSZER

A Protar vezérléséért egy komplex hálózat felel, amelynek két fő egység szintű komponense a légi fedélzeti rendszer és a földi támogató-irányító munkaállomás. A légi fedélzeti rendszer globálisan magába foglalja a fedélzeti tápellátás, a kommunikáció, a navigáció, a meghajtás és az egyéb szabályzó-irányító-mérő elektronikus összetevőket, tehát a szenzorokat és a szervomechanizmusokat. A légi jármű erőforrása egy darab gázturbina, amelynek vezérlését saját ECU-ja (electronic control unit – elektronikus szabályzó egység) végzi. A Protar repülésének folyamatos kontrollálását, az egyes érzékelők és beavatkozó egységek összehangolását a fedélzeti avionikai rendszer végzi. Az avionikai rendszer négy fő komponensből áll: (1) a repülésvezérlő robotpilóta, (2) a kommunikációs, (3) az energiaellátó és a (4) belső-külső hasznos teher (payload) alrendszerek. A fedélzeti avionika-elektronika rendszer elemeinek főbb elemei a 12. ábrán láthatók.

Az alrendszerek érzékelőelemei az egyes szenzorok: barometrikus magasságmérő, fűthető pitot-csöves sebességmérő, háromtengelyű gyorsulásmérő, háromtengelyű giroszkóp, mágneses iránytű, GNSS (Global Navigation Satellite System) -vevő, üzemanyagszint-, áram-, feszültség- és hőmérők. A végrehajtó alrendszer elemei a robotpilóta által vezérelt szervomechanizmusok, amelyek feladata a kormányfelületek mozgatásával a repülőgép kontrollált irányítása. A repülésbiztonság növelésének érdekében a kormányfelületek két részre osztottak, a megosztott felületek mozgatását pedig külön-külön servo végzi. Az összesen négy irányító servo vezérlése négy, egymástól

12. ábra. A Protar avionikai rendszerének főbb elemei (A szerzők szerkesztése)



13. ábra. Protar Supervisor munkaállomás (A szerzők felvétele)

független jelkimeneten történik, a redundancia növelése érdekében a vezérlésen túl ezek elektromos táplálása is szeparáltan történik. A repülőgép irányítása autonóm, amelyért a robotpilóta felel, de a földi operátornak bármikor lehetősége van a beavatkozásra. A repülőgép belső-külső hasznos terhei (payloadok): a Luneberg-lencse², a füstpatronok és a piropatronok, amelyek a célravezetést támogatják. Emellett integrálásra kerül egy AMDI-rendszer (AMDI – Accoustic Miss Distance Indicator – akusztikus találatipontosság-jelző) a feladatvégrehajtás utólagos, precíz kiértékelése érdekében.

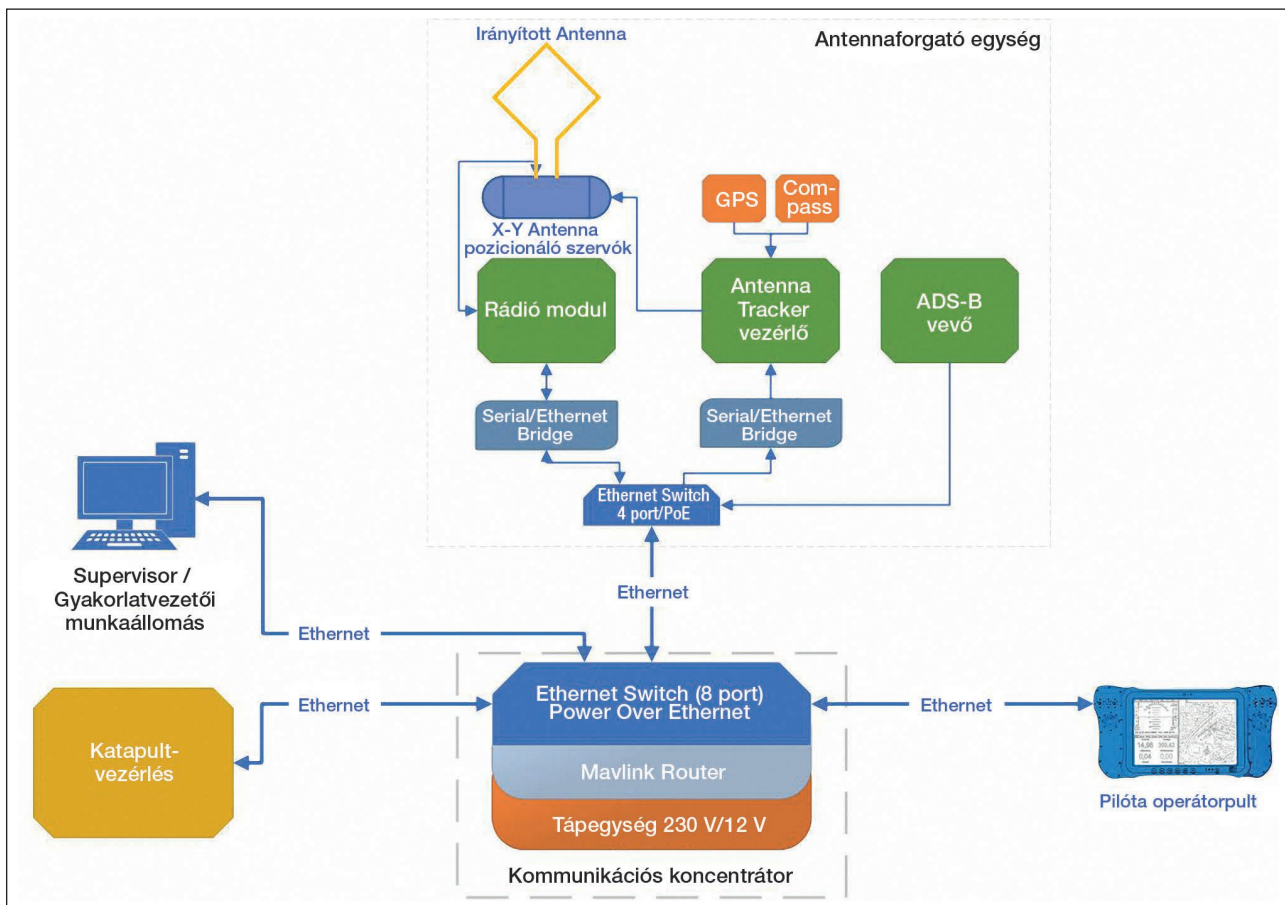
A földi irányító (kiszolgáló) munkaállomás négy fő egységből áll. (1) A *Pilóta operátorpult*, a légi jármű kezelőjének első számú megjelenítő és beavatkozó eszköze, amely biztosítja a repülési tervek le és feltöltését, a telemetria adatok megjelenítését, a payloadok vezérlését, illetve – szükség esetén – a légi jármű közvetett irányítását. (2) A *Supervisor munkaállomás* a bevetés vezető felügyeleti eszköze, ahol a rendszer összes komponensének (légi járművek, katapult, payloadok) státusza ellenőrizhető és módosítható. A légi járművek repülési tervei is ezzel az eszközzel készülnek.

(3) Az *Antennaforgató egység* a repülési feladat során nagy nyereségű irányított antenna mozgatásával folyamatos, digitális adatkommunikációt biztosít a légi járművek és a földi komponensek között. A rendszer NATO sztenderd frekvenciatartományban kommunikál, amelyhez az Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság engedélyei is szükségesek. (4) A *Kommunikációs koncentrátor* a földi kiszolgáló rendszer elemeinek és a katapultnak az összekapcsolását biztosítja, az itt működő szerver számítógépet biztosítja az adatcsomagok megfelelő helyre történő eljuttatását, valamint az adatok és a kommunikáció archiválását. A földi kiszolgáló rendszer komponenseit, és azok rendszerteknikai kapcsolódását a 14. ábra szemlélteti.

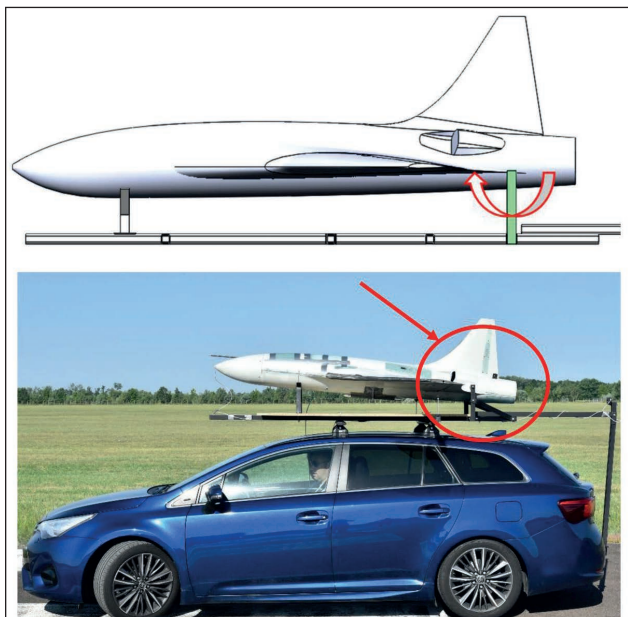
DUMMY PROTÓTIPIKUSOK „RARIÁS SZÉLCSATORNA” VIZSGÁLATOK CÉLJÁBÓL

A tényleges repülőképes prototípus legyártását megelőzően 2 db ún. nullszériás dummy (nem működőképes, de funkcióját tekintve azonos mintapéldány) megépítését végezte el a fejlesztő munkacsoport. Az első dummy abból a célból készült, hogy a beépítésre kerülő rendszer elemeket valós, fizikai állapotukban a repülőgépbe lehessen helyezni, és a szükséges vezetékrendszerek, elektromos hálózatok nyomvonalainak elhelyezését meg lehessen határozni.

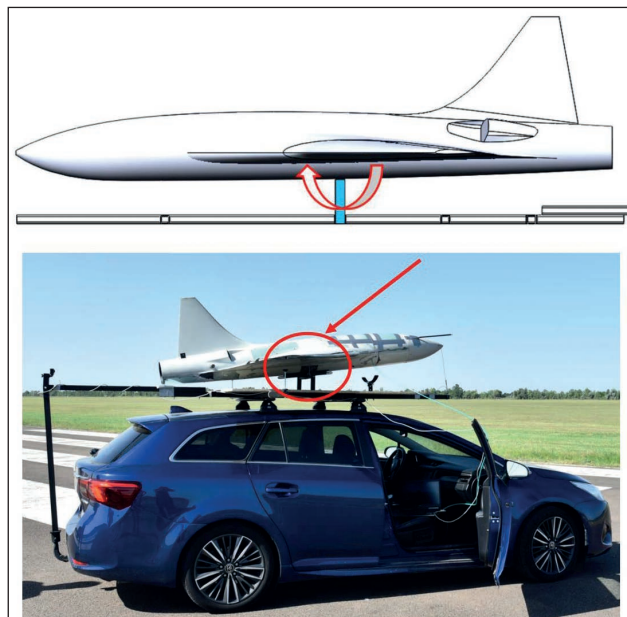




14. ábra. Protar célrepülőgéphez rendszersített földi kiszolgáló munkaállomás blokkvázlata (A szerzők szerkesztése)



15. ábra. A Protar repülés előtti elemelkedési karakterisztika-tesztje (A szerzők felvétele és szerkesztése)



16. ábra. A Protar repülés előtti magassági kormány hatássági tesztje (A szerzők felvétele és szerkesztése)

A második dummyt különleges „szélcsatorna” kísérlet végrehajtásához használták fel, amelynek célja a repülésbiztonság magas fokú garantálása volt. A hazánkban rendelkezésre álló szélcsatornát – amely a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen található – időkorlát

miatt nem lehetett használni, így a munkacsoport úgy döntött, hogy az alapvető repülési viselkedések modellezése céljából egy gépjármű tetőcsomagtartójára épít fel egy olyan installációt, amelynek segítségével a tervezés elsődleges validációját a repülések megkezdése előtt igazolni

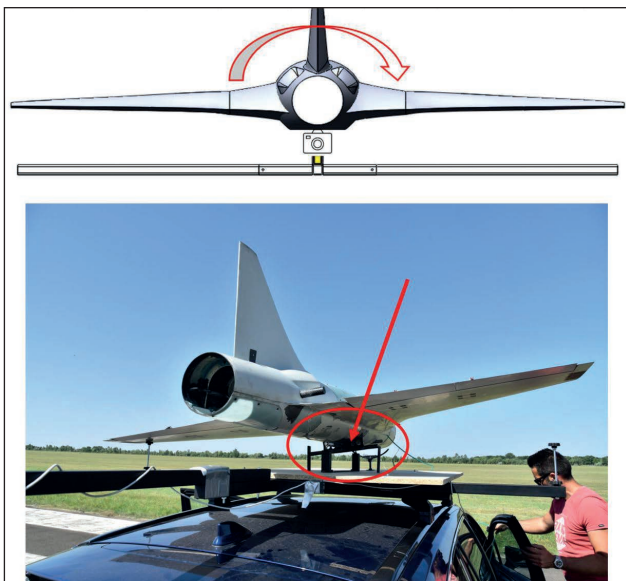
lehet. Az áramlástan mérés elvégzéséhez a gépjármű meghatározott sebességgel és gyorsítással mozgott, biztosítva ezzel a repülőgéptest körüli megfelelő levegőáramlást. A tesztek célja az volt, hogy numerikus kalkulációkat követően, valós körülmények között is megismerhető legyen a repülőgép CG és AC pontok között jelentkező arányszám-változtatásának hatása a kormányozhatóságra. Szükséges ugyanis annak gyakorlati ellenőrzése az alkalmazott CG-helyzet megfelelő korlátos tartományban van-e, és a repülőgép kormányzási tartaléka elegendő-e. Első konfigurációban a szárny mögött, a hajtóműbekötés vonalában került kialakításra forgáspont (15. ábra), amely körül a repülőgép szabadon elfordulhatott. A kísérlet célja a tapasztaltszerzés volt a repülőgép elszívódási-elemelkedési, állásszögugrás-hajlam karakterisztikájáról, illetve arról, hogy a sebesség-növekedés hogyan hat az állásszög változására.

Második esetben a forgáspont a repülőgép számított keresztengely körüli súlyvonalában helyezkedett el (16. ábra). Ennek a vizsgálatnak a célja a magassági kormány hatásosságának megismerése, a reakcióidő és az intenzitás mérése volt.

A harmadik konfigurációban a repülőgép csűrőkormányának hatásossága került elemzésre, ebben az esetben a repülőgép hossz tengelyével párhuzamosan eltolt vonal mentén létrehozva a forgástengelyt (17. ábra).

A munkacsoport tagjai a tesztek során fedélzeti mérőrendszereket alkalmaztak, hogy pontos adatokhoz juthassanak, továbbá külső és belső kamerás videofelvételeket

17. ábra. A Protar repülés előtti csűrőkormány hatásossági tesztje (A szerzők felvétele és szerkesztése)



18. ábra. A Protar repülőképes változat prototípusa (A szerzők felvétele)

készítettek, amelyek segítségével utólag kerültek kiértékelésre a folyamatok.

A dummy prototípusok elkészültével, illetve a gépjárművel támogatott különleges szélcsatorna-vizsgálatok lefolytatásával párhuzamosan, a repülőgép szerkezeti-szilárdsági vizsgálata is lezajlott. Ezt követően minden készen állt arra, hogy a Protar prototípusa (18. ábra) végrehajthassa első „szűz felszállását”, és ezzel egyidejűleg megkezdje a légi tesztelési program szerint előírt feladatok végrehajtását.

(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Forrás: https://www.innoteka.hu/cikk/felhok_utan_irany_a_vilagur.2107.html;
- [2] 38/2021. (II.2.) Korm. Rendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről, illetve Specific Operations Risk Assessment;
- [3] https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/391827/20140916-STANAG-4703_AEP-83_A_1_1_.pdf (Letöltve: 2022.1.25.);
- [4] Jereb Gábor, *Aerodinamika és repüléelmélet I.* (Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1977).

JEGYZETEK

- 1 Az Elevon az elevator (magassági kormány) és az aileron (csűrő) szavakból képzett kifejezés olyan kormánymegoldásra, ahol a kormányfelületek e két funkciót egyetlen eszközben egyesítik. Az elevon alkalmazása a deltaszárnyú és csupaszárny kialakítású repülőeszközökre jellemző. (Pl.: B-1; B-2, F-102 Delta Dagger; Concorde, űrsiklók, UAV-k) (A szerk.)
- 2 A Luneberg-lencsét (helyesen Luneburg-lencse, eredetileg Luneburg-lencse) Luneburg, Rudolf Karl (1903–1949) a matematika és az optika professzoráról nevezték el. A gömbszimmetrikus gradiens-index lencse törésmutatója a középponttól a külső felületig sugárirányban csökken. (A szerk.)