



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

A Protar légvédelmi célrepülőgép fejlesztése Magyarországon **II. rész**

A cikk első része a Magyar Honvédség Modernizációs Intézet felügyelete alatt, a Rotors&Cams Zrt. és a Genevation Aircraft Kft. konzorciális együttműködése keretén belül zajló, egyedülálló ProTAR T-UAV (Target Unmanned Aerial Vehicle) más néven – UAT (Unmanned Aerial Target – pilóta nélküli légi cél) légi jármű fejlesztésének időszerejét, a tervezés főbb aspektusait és a repülőgép általános kialakítását, valamint a rendszer elemeit mutatta be. A várva várt berepülési folyamat részletes leírása előtt, a szerzők jóvoltából érdekes műhelytitkok derülnek ki arról, hogy a fejlesztés folyamatai miként állnak összhangban a légi alkalmassági előírásokkal, az érdeklődő olvasók bepillantást nyernek a szigorú gyártástechnológiai módszerekbe és meggyőződhetnek arról, hogy milyen nagy mennyiségű és komplex földi teszt előz meg egy szűzfelszállást.

LÉGI ALKALMASSÁGI ELŐÍRÁSOK FIGYELEMBEVÉTELE A FEJLESZTÉSI FOLYAMAT SORÁN

Amint arról már az előzőekben említést tettünk, a repülőgépet a szakemberek a NATO STANDARD AEP-83 Light Unmanned Aircraft Systems Airworthiness Requirements Edition A Version 1 a könnyű, pilóta nélküli légijármű-rend-

szerek légi alkalmassági követelményeiről szóló szabvány alapján fejlesztették ki, és a jövőben a sorozatgyártása és az üzemeltetése is e szabvány követelményei szerint történik. [5] A szabályzórendszer értelmében az előírások olyan UAV (Unmanned Aerial Vehicle) pilóta nélküli légi járművekre vonatkoznak, amelyek merevszárny-elrendezésűek, és maximális felszállótömegük nem haladja meg a 150 kg-ot. A kategóriába tartozó légi járművekre vonatkozó, a megfelelőséget alapvetően meghatározó, szigorú műszaki követelmények köre:

- a sárkányszerkezet és az alkalmazásra kerülő anyagszerkezetek,
- a légi jármű meghajtó és energiaellátó rendszerei,
- a segédberendezések és felszerelések,
- a folyamatos légi alkalmasság biztosítását lehetővé tevő háttérkiszolgáló infrastruktúra kialakítása.

Az előírás értelmében a rendszer fejlesztési komplexitása nem abban rejlik, hogy egy repülni képes légi járművet kell létrehozni, hanem már a tervezési koncepció kezdetekor, a formaterv megléte nélkül meg kell határozni az AEP-83 NATO-szabvány ER.1. UL.0. bekezdésének értelmében olyan mérföldköveket, amelyek az egész életciklusára vetített alkalmazhatóság részleteit is meghatározzák. A repülő- és rendszermérnöki gyakorlattal többnyire ellentétes volt, hogy a fejlesztés eleve számos előre meghatározott

* 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



NATO AEP-83	NATO AEP-83	Means of Compliance Codes									Compliance Method / Attached Compliance Reference Documents	Level of Involvement HgCAA					Compliance Report		
		Not applied	Eng. Evaluation				Tests					No task	Send the document to HgCAA	HgCAA inspect the equipment qualification	Invite HgCAA to audit	Invite HgCAA to test together	Closed by Generation	Approved by HgCAA	
			Compliance statement	Design review	Calculation, Analysis	Safety assessment	Laboratory test	Structural ground test	Flight test	Inspection / audit									Simulation / Other test
Requirement	Compliance Reference & Section / Title	N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	N	R	I	D	P / W	C	A

20. ábra. A MOC-struktúra alkalmazása a tanúsítási előírások feldolgozásában (Dr. Farkas Csaba szerkesztése az [5] alapján)

elvárással és tulajdonsággal indulhatott. Példaként emlíünk néhány követelményt, amely erősen behatárolta a tervezők mozgásterét:

- alkalmazási feladatkör, a missziók definiálása,
- a repülési kondíciók és a környezet meghatározása,
- a földi üzemeltetési és kiszolgáló infrastruktúra megadása,
- az üzemeltetési módok kiválasztása (robotpilóta, sebességtartás, magasságtartás, iránytartás, manuális üzem stb.),
- az indítási és visszatérési módszerek,
- a kiszolgáló környezetre vonatkozó kondíciók meghatározása,
- az egyszerre üzemeltetendő légi járművek száma, a közöttük levő kommunikációs kapcsolat módszere,
- a légi járművet és a kiszolgáló infrastruktúra szállítását biztosító platform,
- az üzemeltetési környezettel kapcsolatos követelmények,
- az összes súlyponthoz tartozó repülési helyzet, és azok hatása a repülésre és a kiszolgáló környezetre vonatkozóan.

A fejlesztő munkacsoport a légi jármű típustanúsítását a Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztálynál (továbbiakban tanúsító szervezet) kezdeményezte, amely folyamat a fejlesztés jelen szakaszában is tart. Az eljárás lényege, hogy a tanúsító szervezet a NATO STANDARD AEP-83-as szabvány pontjainak megvalósulását egy egy logikailag előre meghatározott igazolási módszer szerint tevékenesen vizsgálja.

A 20. ábrán látható ún. MOC- (Means of Compliance – megfeleléségi eszközök) struktúra határozza meg, hogy az adott jogszabályi előírási pont megfelelése, miként kerül igazolásra. Az ábrán nemzetközi angol szakkifejezéseket tüntették fel, amelyek értelmében strukturális keretekbe foglalva meghatározzuk az alábbiakat:

- Requirement: az alkalmazásra kerülő tanúsítási követelményrendszer;
- Compliance reference & Section/Title: a tanúsítási követelményrendszer adott vonatkozó pontja, annak címe;
- MCC (Means of Compliance Codes – MOC kódok): a kódok azt jelölik, hogy az adott vonatkozó tanúsítási pont milyen módon, miként kerül igazolásra. A kód lehet:
 - o N – az adott pont nem vonatkozik,
 - o 0 – az adott pont vonatkozik és figyelembe kell venni,
 - o 1 – az adott pont megfelelése egy tervezői jelentéssel kerül bizonyításra,
 - o 2 – az adott pont megfelelése számítás, analízissel kerül bizonyításra,
 - o 3 – az adott pontra vonatkozik egy biztonsági értékelés, kockázatelemzés,
 - o 4 – az adott pont megfelelése laboratóriumi vizsgálattal kerül bizonyításra,
 - o 5 – az adott pont megfelelése földi mechanikai vizsgálattal kerül bizonyításra,

- o 6 – az adott pont megfelelése légi berepülési teszttel kerül bizonyításra,
- o 7 – az adott pont megfeleléségének igazolásához a tanúsító szervezet jelentéte is szükséges, nem elegendő azt papír és/vagy egyéb elektronikus dokumentum alapján utólag bizonyítani (ilyen lehet például egy szilárdsági törő- vagy légi berepülési teszt),
- o 8 – az adott pont megfeleléségének igazolásához szimulációs környezetet kell létrehozni,
- o 9 – az adott pont megfelelése egy olyan berendezést vagy rendszert ír le, amely jelentősen meghatározza a megbízhatóságot, így arra vonatkozóan független üzemképességi nyilatkozat csatolása is szükséges,
- Compliance Method/Attached Compliance Reference Documents: az adott vonatkozó tanúsítási pont megfeleléségét bizonyító okirat, dokumentum száma, neve, hivatkozása stb.,
- Level of Involvement: a tanúsító szervezet érintettségi szintje, amely alapján az adott tanúsítási pont megfeleléségének feldolgozásával:
 - o N – nincsen teendője,
 - o R – a jelentkezőnek az adott dokumentumot be kell nyújtania,
 - o I – az üzemképességet le kell ellenőrizze,
 - o D – a tanúsító szervezet meghívást kap, hogy jelenlétével egyidejűleg kerüljön igazolásra a megfeleléség,
 - o P/W – a tanúsítószervezet és a jelentkező együttesen végez adott tesztet,

Compliance Report: az adott pontra vonatkozó megfeleléségi jelentést a jelentkező lezárta, Azt a tanúsító jóvá is hagyta.

A fejlesztési folyamat eddig elvégzett és már lezárt munkaszakaszai közül több is az előbb bemutatott struktúra részei. Megemlítendő példaként az alkalmazott anyagszerkezetek, és a repülések megkezdését megelőzően a tanúsító szervezettel közösen lefolytatott földi szilárdsági-mechanikai és rendszertesztet.

ALKALMAZOTT ANYAGSZERKEZETEK, ÉS VIZSGÁLATUK A LÉGI ALKALMASSÁGI ELŐÍRÁSOK ALAPJÁN

A repülőgép sárkányszerkezete szálal erősítésű, kompozit alapanyagokból épül fel, amelyekre vonatkozó biztonsági normatívák követelményeit szintén az AEP-83 NATO-szabvány előírasrendszere határozza meg. [5] Ehhez szorosan kapcsolódnak az alkalmazandó statikus és kifáradási értékhatárokhoz köthető biztonsági tényezők, amelyek a biztos fellépő és határtörő terhelések közötti korrelációs együtthatók. A fent említett értékek és szabályozók alapján meghatározzák a sárkányszerkezet kialakítását, annak terhelhetőségét és biztonsági tartalmát. Az alkalmazott szerkezeti anyagok tehát elegendő biztonsági tartalékkal kell, hogy rendelkezzenek, amelyek tekintetében a következő feltételeknek kell teljesülnie:

- a konstrukciót úgy kell kialakítani, hogy a szerkezet maximális terhelése esetén, abban törés, deformáció,

maradandó alakváltozás ne jöhessen létre, az anyagszerkezet ezen állapotában fellépő terhelést biztos maximum limit üzemi állapotnak, vagy üzemi szélső terhelésnek nevezzük;

- a konstrukciónak a biztos maximum limit üzemi állapothoz képest kellő szilárdsági tartalékkal kell rendelkeznie, amit határ- és/vagy törőterhelési állapotnak nevezünk;
- a szerkezeten belül számos olyan megoldás alkalmazható, amely vonatkozásában a törőterhelési állapothoz tartozó alap biztonsági tényező nagyságát további korrelációs együtthatókkal kell növelni, mint például illesztések, bekötési csomópontok, csapágyak. Ezekkel összefüggésben előfordulnak igen magas (az iparági gyakorlattal ellentétes) 4,45-szeres és 6,67-szeres biztonsági tényezők is.

További speciális követelmények érvényesek a szálerősítéses kompozit szerkezeti anyagokra. [6] Tekintettel arra, hogy ezen anyagszerkezetek legtöbbje nem homogén szerkezeti egységet eredményez, a heterogén felépítésből eredően bizonyos terhelési irányokban más anyagi viselkedést mutat a terhelt elem. Ez a hatás, továbbá a folyamatos gyártástechnológiából eredő, a heterogén egység eredményezte szórások követelik meg ezen anyagok mélyebb mechanikai vizsgálatát. A kompozitokra vonatkozóan kiegészítő vizsgálatokat írnak elő, ha az üzemeltetési körkörülmények széles határokon belül változhatnak, például száraz vagy nedves környezetekben zajlanak hirtelen állapotváltozások, ezt a két esetet egymástól el kell különíteni. Szintén a biztonsági tényező nagyságának növelésével jár a szerkezetre vonatkoztatott olyan gyártási környezet, ahol a folyamatos minőségbiztosítás monitorozása nem, vagy csak részlegesen megoldott. A gyártási környezet bizonytalanságát eredményezheti, ha nincsen kellő számú mintavételezés, vagy nem ismert mátrixfázis-keverési arány léphet fel, nem kellően tiszta környezetben történik a gyártás stb. Ezen hatásokat együttvéve a határ- és/vagy törőterhelésre érvényes biztonsági tartalék nagysága kompozitok esetében akár 2,25-szeres értékű is lehet, amely már a szükséges beépítendő tömeg tekintetében jelentős anyagfölleletet eredményezhet.

A fent leírtakból látható, hogy a szerkezeti anyagok teherhordó képességeinek szélső érték megismerése, továbbá az alkalmazásra kerülő gyártástechnológia alapos kidolgozása a szerkezet üres tömegét alapvetően határozza meg. Ha egy szerkezeti teherhordó egységet vizsgálunk, amelynek tegyük fel $F = 1000$ N biztos szélső üzemi maximális erőhatást kell elviselnie, akkor nem mindegy, hogy a biztonsági korrelációs faktor egy kompozit szerkezeti elem esetén 1,25 és 2,25 nagyság között miként alakul, hiszen az alkatrész mechanikai méretezésének alapja a biztonsági faktorról növelt erő nagysága. A nagyobb szilárdsági tartalék biztosítására általában három lehetőség áll a konstrukciónak rendelkezésére:

- nagyobb teherbírási anyag alkalmazása, amely növeli a termék árát,
- a teherhordó keresztmetszet, kvázi a tartó inerciaviszonyainak növelése, amely az öntömeg növekedését eredményezi, a hasznos terhelhetőség rovására,
- a konstrukció kialakítása úgy, hogy az adott egység teherhordásába más, vele kényszerkapcsolatban álló elem is bevonásra kerül, amelynek legfőbb hátránya, hogy a hosszú távú kifáradási határértéket csökkenti.

A fejlesztő munkacsoport a tanúsítási követelmények és a kompozitokra vonatkozó ipari normatívák alapján végezte el az anyagszerkezetek mechanikai jellemzőinek vizsgálatát. A laboratóriumi tesztek során kismintákon vizsgáltuk

az anyagi viselkedéseket. Az anyagvizsgálatokat az FAA³ ajánlása alapján, a DOT/FAA/AR-03/19 [6] repülőipari tanúsításokhoz készített, alapján az ASTM⁴ nemzetközi szabványügyi szervezet által a kompozit anyagokra vonatkozó előírás javaslatára alapján végeztük az alábbiak szerint:

- kompozit laminátum mechanikai jellemzőinek megismerése szakítópróbával ASTM D 3039 szerint,
- kompozit laminátum mechanikai jellemzők megismerése nyomóvizsgálat során az ASTM D 3410 szerint,
- kompozit laminátum mechanikai jellemzők megismerése hajlítóvizsgálat során az ASTM D 7264 szerint,
- kompozit laminátum mechanikai jellemzők megismerése nyíróvizsgálat során az ASTM D 5379 szerint,
- anyaghibát tartalmazó kompozit laminátum mechanikai jellemzőinek megismerése húzó igénybevételel elszívódó károsodási vizsgálat során az ASTM D 5766 szerint,
- kompozit laminátumok összekötését (ragasztását) biztosító átlapoltszerű ragasztás mechanikai jellemzőinek megismerése az ASTM D 5868 szerint, húzó vizsgálatl,
- kompozit laminátumok összekötését (ragasztását) biztosító átlapoltszerű ragasztás mechanikai jellemzőinek megismerése az ASTM D 1876 szerint, lefejtő vizsgálatl.

Tekintettel arra, hogy az anyagi viselkedés orientáció (szárirány) függő, így több terhelési irány kombinációra és széles hőmérsékleti tartományban végeztük az elemzéseket, amelyek következtében összesen 960 db mintatestet kellett vizsgálnunk. Az anyagvizsgálatokkal párhuzamosan a gyártástechnológia minőségbiztosítási adaptációját is elvégeztük, az összes leggyártott kisminta elkészítési folyamatát dokumentáltuk. A kisminták gyártási módszere teljesen megegyezik a repülőgépszerkezetielemek gyártásával, hiszen ekvivalens folyamatokat alkottunk meg az alábbiak tekintetében:

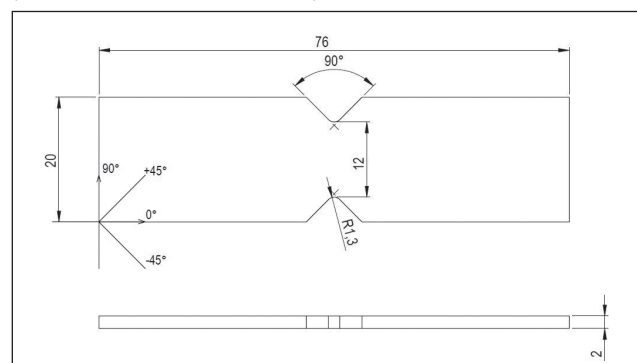
- standardizált felhasznált alapanyagok,
- standardizált mátrixfázis kompozit rendszer,
- standardizált ragasztó és ragasztási illesztések,
- standardizált gyártói infrastruktúra környezete.

A 21. ábrán egy kompozit laminátum mechanikai jellemzőinek megismerésére szolgáló, nyíróvizsgálatra elkészített kisminta műszaki rajza látható.

A 22. ábra egy olyan gyártásban alkalmazott technológiai lapot mutat be, amelyen az alkatrész elkészítésének folyamatát dokumentálják. A standardizált környezetben készülő egység alapja a kismintákon kikísérletezett gyártási folyamat, amely alapján meghatározzák:

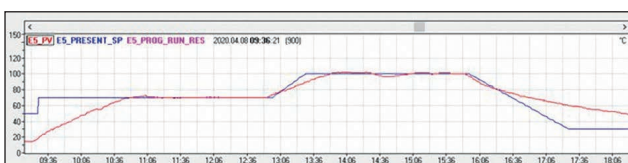
- a technológiai rétegstruktúrákat,
- az orientációkat és a beépíthetőségeket,
- a környezeti peremfeltételeket,
- a felhasználásra kerülő alapanyagok kódjait és azonosítóit,

21. ábra. Kompozit laminátum nyíróvizsgálat mintatesten (Dr. Farkas Csaba szerkesztése)



Genevation Aircraft Kft H-6078 Jakabszállás II. Körzet 11. Sportrepülőtér		Kompozit elem gyártási lap / Composite part production sheet		GENEVATION				
Kompozit elem gyártási lap / Composite part production sheet				Elem:	Törzs felső héj bal	Repülőgép típus:	Kóborló célmegjelölő	
				ATA:	Koborlo_53_40_10_02	Repülőgép Sn:		
				Part Nr.:	Koborlo_SN05_53_40_10_02	Doc numb.:	CPPS-34_KBL_SN05	
Réteg Nr.	Anyag megnevezés	Orientáció	Pozíció	Munkavégző	Ellenőrző	T (°C) / H (%)	Dátum	Wet lay up nr.
1.	Üveg 160g/m ²	+/-45°	Teli	PRD GENEVATION		T = 21 H = 50	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
2.	Üveg 160g/m ²	+/-45°	Teli	PRD GENEVATION		T = 21 H = 50	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
3.	Szénszál UD 80g/m ²	0°(UD)	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 30	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
4.	Szénszál 160g/m ²	0/90°	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 30	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
5.	Szénszál UD 80g/m ²	0°(UD)	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 30	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
6.	Szénszál 160g/m ²	0/90°	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 30	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
7.	Szénszál UD 80g/m ²	0°(UD)	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 30	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
8.	Üveg 90g/m ²	0/90°	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 50	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
9.	Üveg 90g/m ²	+/-45°	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 50	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
10.	Üveg 90g/m ²	0/90°	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 30	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
11.	Szénszál 160g/m ²	+/-45°	Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 50	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
12/1	Herex t=1,5mm		Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 50	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
12/2	Herex t=1,5mm		Helyi erősítés	PRD GENEVATION		T = 21 H = 30	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2
13.	Üveg 160g/m ²	+/-45°	Teli	PRD GENEVATION		T = 21 H = 50	2021.12.01.	20211076-1 20211076-2

22. ábra. Gyártáskísérő controllinglap minta (A Genevation Kft. saját dokumentuma)



23. ábra. Hőkezelési görbe. A vonaldiagram x tengelye: idő, az y tengely: hőmérséklet [°C] (Dr. Farkas Csaba szerkesztése)

- a munkavégzőket és a controlling személyeket,
- az azonosító kódokat és
- a gyártási dátumokat.

A 23. ábrán látható egy, a minősített gyártói környezetből származó alkatrész hőkezelési ciklusdiagramja. Ahogyan a kísérleti bevizsgált kisminták készültek, ugyanúgy készülnek a repülőgépekbe beépítendő elemek is.

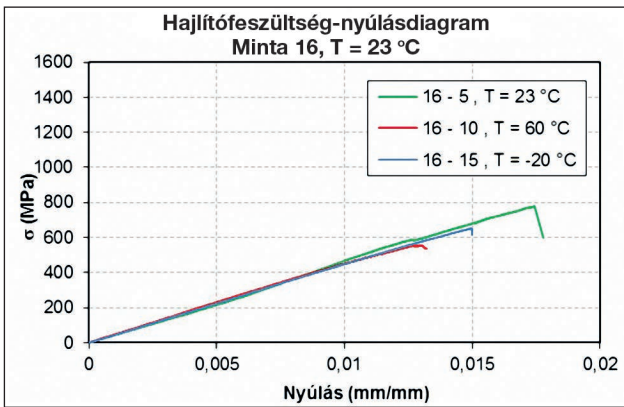
A 24. ábra átlapolt, ragasztott laminátumok kötését szemlélteti, míg a 25. ábra egy lefejtő vizsgálatra előkészített kismintát mutat.

24. ábra. Átlapolt laminátumok vizsgálati mintatestje (Fotó: Dr. Farkas Csaba)



25. ábra. Lefejtő vizsgálatra előkészített laminátumok vizsgálati mintatestje (Fotó: Dr. Farkas Csaba)





26. ábra. Karbon CW-95 laminátum mintatestek hőmérsékletfüggő hajlítófeszültség-nyúlásdiagramja (Dr. Farkas Csaba szerkesztése)

Az anyagvizsgálatok eredménye – valamennyi mechanikai anyagi jellemző – a feszültségnyúlás diagramok (lásd példaként a 26. ábrát, amely egy hárompontos hajlítóvizsgálat eredményeit mutatja be), és a hőmérséklet-páratartalom függvényében változó szilárdsági adatok megismerése az egyes laminátumok esetében:

- szálirányfüggő rugalmassági modulusok kimérése,
- szálirányfüggő szakítószilárdságok nagysága,

- szálirányfüggő nyomószilárdságok nagysága,
- hajlítószilárdság nagysága,
- terhelési irány függvényében kapott Poisson-féle szám⁵,
- nyíró rugalmassági modulusok kimérése,
- különféle nyíró és csúsztató feszültségek nagysága.

A kapott adatok eredményeként vált lehetségessé a légi jármű teljes sárkányszerkezetének szilárdsági méretezése, és a virtuális számítógépes CAD⁶-munkakörnyezetben a FEM⁷-számítások elvégzése.

A LÉGI JÁRMŰ FÖLDI TERHELÉSPRÓBÁJA, A SZILÁRDSÁGI BEVIZSGÁLÁS PROGRAMJA A LÉGI ALKALMASSÁGI ELŐÍRÁSOK ALAPJÁN

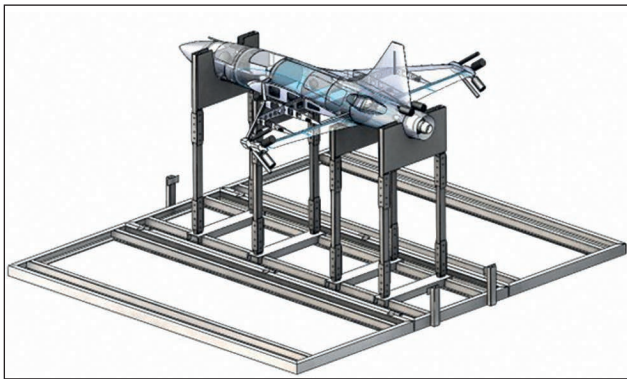
A berepülések megkezdését megelőzően, a légi alkalmasági előírás értelmében el kellett végezni a szerkezet kollektív szilárdsági bevizsgálását. Ez a folyamat a felhasználásra kerülő anyagszerkezetek mechanikai tulajdonságainak megismerése mellett, szintén az egyik legjelentősebb állomása volt a fejlesztésnek.

A vizsgálatok során két terhelési esetet különböztettünk meg, amelyeket a már az előzőekben bemutatunk; egyfelől, a repülőüzem során fellépő biztos terhelési maximumok limit üzemi állapotait, avagy üzemi szélső terheléseket, másfelől pedig a maximum limit terhelési üzemi állapothoz képest megnövelt határ és/vagy törőterhelési állapotban

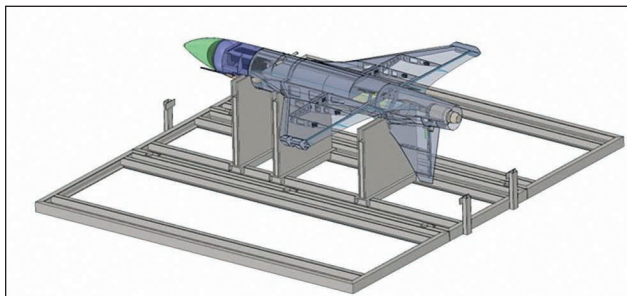
1. táblázat. Protar légi jármű szilárdsági bevizsgálása. Terhelési esetek és értékek (Dr. Farkas Csaba szerkesztése)

Fsz.	Terhelési vizsgálat	Limit eset	Ultimate eset	Megjegyzés
1.	Szárnyhajlítás/ -nyírás [N]	3160	3950	Ezzel együtt a törzs is vizsgálva
2.	Szárnycsavarás [Nm]	591	735	
3.	Szárnyellenállás [N]	340	430	
4.	Függőleges farokfelület-csavarás [N]	202	253	Ezzel együtt a törzs is vizsgálva
5.	Visszatérítő ejtőernyőnyitás hatása a törzstre [N]	650	935	Összes, együttes erő nagysága, bekötési pontonként az érték harmada
6.	Akkumulátortartó panel terhelési vizsgálata [N]	137	172	„Single peace” load
7.	Avionika tartó panel terhelési vizsgálata [N]	69	86	„Single peace” load
8.	ECU modul tartó panel terhelési vizsgálata [N]	69	86	„Single peace” load
9.	Luneberg-lencsetartó panel terhelési vizsgálata [N]	206	258	„Single peace” load
10.	Ejtőernyő-konténer terhelési vizsgálata [N]	206	258	„Single peace” load
11.	Hajtóműbekötés vertikális lefelé terhelés vizsgálata	206	258	
12.	Hajtóműbekötés tolóerő előre terhelés vizsgálata [N]	230	290	
13.	Szárnyvég füstgenerátor rögzítéseinek terhelési vizsgálata [N]	70	90	„Single peace” load
14.	Törzsvég füstgenerátor rögzítéseinek terhelési vizsgálata [N]	17	22	„Single peace” load
15.	Katapult első befogókar terhelési vizsgálata [N]	3536	4420	
16.	Kormánylapok terhelési vizsgálata [N]	csúró: 75	csúró: 75	
		magassági: 115	magassági: 145	
17.	Ejtési teszt [m]	1,3	nincs adat	Becsapódáshatás elemzése





27. ábra. A Protar légi jármű szilárdsági bevizsgálása szárnycsavarás szimulációhoz készült munkapadon (Dr. Farkas Csaba szerkesztése)



28. ábra. A Protar légi jármű szilárdsági bevizsgálása szárnyhajlítás szimulációhoz készült munkapadon (Dr. Farkas Csaba szerkesztése)

29. ábra. Részlet a Protar szilárdsági bevizsgálási program dokumentációjából (Dr. Farkas Csaba szerkesztése)

9. Függőleges farokfelület csavarás vizsgálata (Nr-4 eset)

A függőleges farokfelület, önálló szerkezeti egység, azon oldalkormány nem található, így lapkitérésből származó erővel nem kell számolni.

A felületen, mint oldalero és mint a túlterhelés növekményből származó aerodinamikai hatás két hatást, ebből is a túlterhelés növekmény okozta hatás a kritikus, ami az alábbiak szerint számítható:

$$F_{FV} = K \cdot \Delta n_1 \cdot \frac{G \cdot A_{FV}}{A_{sz}} \quad (e.9.1)$$

Az (e.9.1) egyenletben a tényezők az alábbiak:

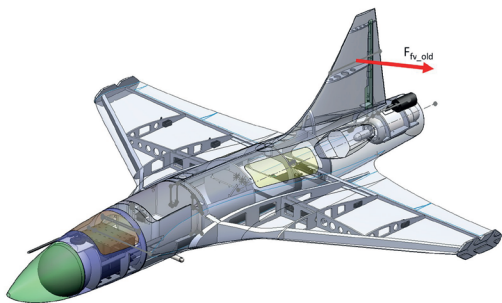
- $K = 0,5$ – kitérés faktor, jelen esetben 0° így értéke $0,5$,
- $\Delta n_1 = 6$ – túlterhelés növekmény, kritikus esetben $1g$ -ről $7g$ -re történő ugrás,
- $G = 589 \text{ N}$,
- $A_{FV} = 0,2 \text{ m}^2$,
- $A_{sz} = 1,75 \text{ m}^2$,

Ezeket felhasználva a következőhöz jutunk:

$$F_{FV} = 0,5 \cdot 6 \cdot \frac{589 \cdot 0,2}{1,75} = 202 \text{ N} \quad (e.9.1)$$

A terheléspróba során a függőleges felület középvonala mentén kell a számított erőnek megfelelő oldalra húzó hatást alkalmazni, az alábbiak szerint:

- limit terhelés esetén $21 \text{ kg} / 202 \text{ N}$,
- ultimate terhelés esetén $26 \text{ kg} / 253 \text{ N}$



9.1. ábra: függőleges vezérsík oldalero hatásának vizsgálata

fellépő erőhatásokat, az ún. ultimate állapotokat. A szilárdsági számításokból összesen 17 terhelési esetet határoztunk meg, amelyre egy speciális földi szilárdsági bevizsgálási programot is megalkottunk. Az 1. táblázatban a Protar szilárdsági terhelésvizsgálatának bemeneti terhelőerő értékeit, és az egyes vizsgálati eseteket foglaltuk össze.

Az összes vizsgálatról archivált videó- és fotófelvételek állnak rendelkezésre, továbbá a tanúsítási folyamat dokumentálására a tesztek jegyzőkönyvezésére is sor került.

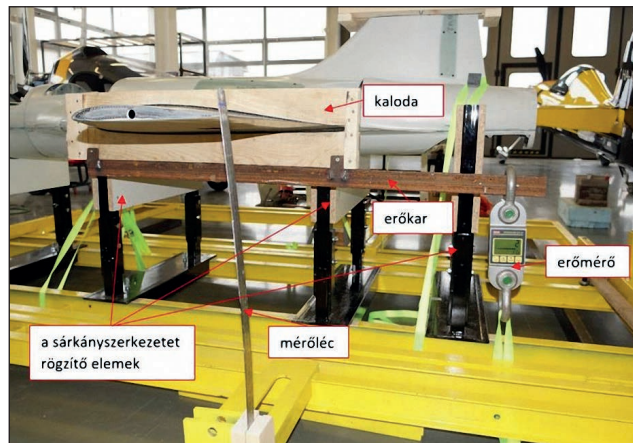
A terhelési próbák előkészítése gondos mérnöki tervezői munka eredménye, azok lefolytatáshoz számos mérnöki számítás készült el, továbbá a legtöbb esetben individuális, speciális megfogó, és rögzítő támaszrendszert kellett készíteni. Egy elkészült terhelési állomást mutatnak be a 27. és 28. ábrákon látható, CAD tervezői munkakörnyezetben készült konstrukciók. A 29. ábrán a földi szilárdsági bevizsgálási program dokumentációjából egy mérnöki számítás tesztfolyamatának tervezése látható.

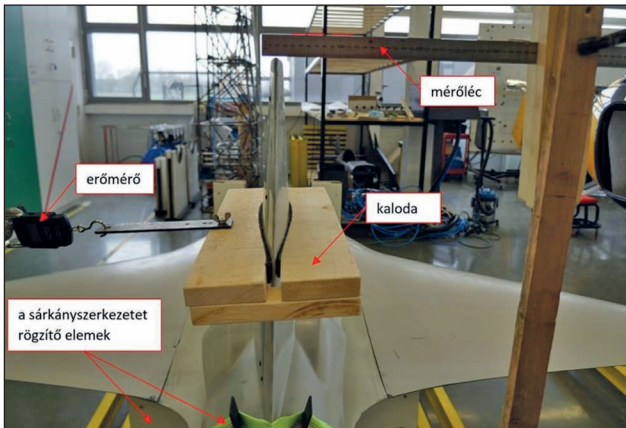
A vizsgálatok megtervezése 3 hónap mérnöki előkészítő munkát igényelt, a gyakorlati megvalósításhoz szükséges fizikai kivitelezés időtartama 1 hónap volt, a program lefolytatása 2 hetet vett igénybe. A Protar sárkányszerkezete mind a 17 vizsgálat során megfelelőnek bizonyult, több esetben – a törő terhelési kritériumokhoz képest is – 15–20%-os szilárdsági tartalékkal. Ez a fejlesztőcsoport számára azért volt örömteli hír, mert lehetőséget láttnak bizonyos szerkezeti elemek tömegének csökkentésére. A 30–35. ábrákon néhány, terhelési vizsgálatról készült fotót mutatunk be.



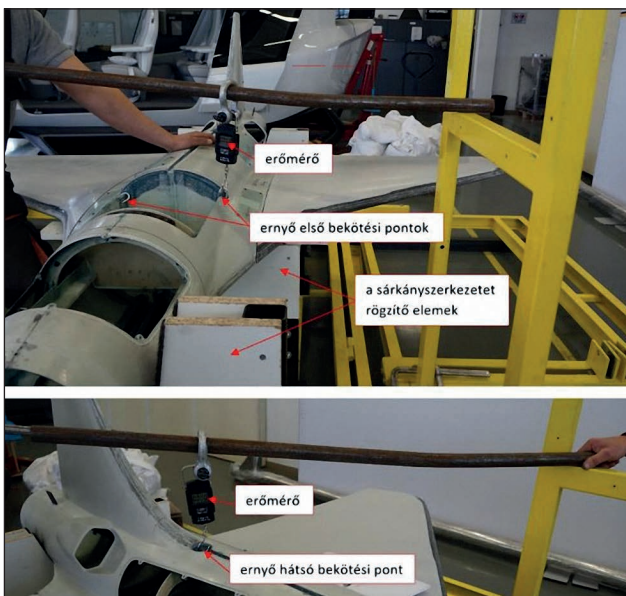
30. ábra. A Protar szárnyhajlítás szilárdsági vizsgálata (Fotó: Dr. Farkas Csaba)

31. ábra. A Protar szárnycsavarás szilárdsági vizsgálata (Dr. Farkas Csaba felvétele és szerkesztése)





32. ábra. A Protar függőleges farokfelületének szilárdsági vizsgálata (Dr. Farkas Csaba felvétele és szerkesztése)



33. ábra. A Protar visszatérítő ernyő bekötési pontjainak szilárdsági vizsgálata (Dr. Farkas Csaba felvételei és szerkesztése)



34. ábra. Protar-katapult. Az indítóberendezés bekötési pontjainak szilárdsági vizsgálata (Dr. Farkas Csaba felvétele és szerkesztése)

A REPÜLÉSEK MEGKEZDÉSE ELŐTTI SPECIÁLIS RENDSZERTESZTEK

Ahhoz, hogy a Protar légi jármű valós körülmények közötti tesztelése elkezdődhessen, a vezérlő- és szabályzórendszerének számos labor- és repüléssel egybekötött komponenstesztjét kellett elvégezni. A fejlesztőknek több szempontból meg kellett győződniük a rendszereszközök kifogástalan működéséről, a redundanciát biztosító elemek üzemképességéről. A légi jármű beépülő rendszereszközei, alrend-



35. ábra. A Protar dinamikus ütközésvizsgálata ejtési teszttel (Fotó: Dr. Farkas Csaba)

szerei az alábbi fő csoportokba sorolhatók: fedélzeti vezérlés, fedélzeti tápellátás, hajtómű, kommunikációs rendszer, kormányozgató berendezés, leszállító berendezés, amelyek kifogástalan működése a repülésbiztonság alapvető feltétele. [7] A fejlesztés során a mérnököknek meg kellett arról győződniük, hogy a létrehozott, vagy integrálásra tervezett komponensek megbízhatóan működnek, és szélsőséges körülmények között is képesek az elvárt paraméterek teljesítésére. A validációs analíziseket ezért több lépésben, különböző eljárások alapján végezték el. Ezek közül a legérdekesebb a két releváns komponens, az avionikamodul és a leszállító berendezés. Az avionikai rendszer magában foglalja a fedélzeti tápellátás, a kommunikáció, a navigáció és a hasznos terhelés (payload) vezérlésének elektronikai és szoftverkomponenseit. Az avionika tervezésénél és fejlesztésénél irányelv a korábbi üzemeltetési és fejlesztési tapasztalatok nagyarányú alkalmazása volt. A Protar légi jármű repülésének vezérlését, az egyes érzékelők és beavatkozó egységek (szervo, hajtómű, payload-vezérlő stb.) összehangolását a fedélzeti avionikai rendszer végzi. Az avionikamodul (36. ábra) validációja laboratóriumi körülmények között, elektronikus és szoftveres tesztkörnyezetben kezdődött, ahol többkörös analízist követően érte el azt a készütségi szintet, amikor a fejlesztés vezetője a valós körülmények közötti vizsgálat megkezdését jóváhagyta. A „valós körülmények közötti tesztek” meghatározás alatt azon repülési tesztekkel kell érteni, amelyek során a szakemberek az egyre komplexebb vizsgálatokat a fokozatosság elvét betartva, folyamatosan „építkezve”, minimális kockázatvállalással végezték el. A tesztek során nagy jelentőséggel bírt az eredmények dokumentálása, és azok kiértékelése. A fedélzeti adatgyűjtő rendszer alkalmazásának köszönhetően a tesztek eredményeit nagy felbontással tudtuk dokumentálni.

36. ábra. A Protar avionikamodulja (Fotó: Nagy Attila)





37. ábra. Avionikamodul tesztelése habgépben
(Fotó: Nagy Attila)



38. ábra. Gázturbinamodul vizsgálata SebArt Mini Avanti repülőgépben (Fotó: Nagy Attila)

A repülések végrehajtása habrepülőgépek alkalmazásával kezdődött, amelyek kis tömegűek, olcsók, könnyen javíthatók, és sérülés vagy zuhanás következtében sem tudnak jelentős kárt okozni. Hátrányuk, hogy repülési sebességük jelentősen elmarad a Protar légi jármű üzemi sebességétől, és a légi járműtest anyaga miatt a gázturbinás hajtómű alkalmazását is ki kellett zárni. Az elektromotoros hajtással rendelkező habrepülőkön az avionikamodul

funkcióinak 70%-át állt módunkban tesztelni, manuális, valamint automata üzemmódokban. A tesztek eltérő helyszíneken, különböző napszakokban és más személyzettel hajtottuk végre annak érdekében, hogy az eredmények átfogó és kimerítő képet adjanak a rendszer aktuális állapotáról.

A repülési tesztek második fázisának lebonyolításához egy SebArt Mini Avanti S balza-kompozit RC (Radio Controlled – rádióvezérlésű) repülőmodellet választottunk, ahol a gázturbina alkalmazásának lehetősége már nagyobb repülési sebességtartományban is értékes adatokat szolgáltatott. A gázturbinás repülőmodellel az avionikamodul, és azzal együtt a robotpilóta funkciók közel 90%-át sikerült valós repülési körülmények között validálni, kaput nyitva ezzel a pilóta nélküli rendszer komplex vizsgálatainak későbbi fázisára.

(Folytatjuk)

HIVATKOZT IRODALOM

- [5] NATO Standard AEP-83 LIGHT UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AIRWORTHINESS REQUIREMENTS Edition A Version 1 Ratification Draft 1 2014, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/391827/20140916-STANAG-4703_AEP-83_A__1_.pdf (Letöltve: 2022.5.15.);
- [6] John S. Tomblin, Yeow C. Ng, and K. Suresh Raju, *Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material Systems: Updated Procedure*, DOT/FAA/AR-03/19, Office of Aviation Research Washington, D.C. 2003, <http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar03-19.pdf> (Letöltve: 2022.5.15.);
- [7] Cook, Stephen and Loyd Reed Hook. "Developmental Pillars of Increased Autonomy for Aircraft Systems." (2020). <https://doi.org/10.1520/TR2-EB> (Letöltve: 2022.5.15.).

JEGYZETEK

- 3 FAA – Federal Aviation Administration – Szövetségi Légiközlekedési Igazgatóság.
- 4 ASTM – American Society for Testing and Materials – Amerikai Társaság a Tesztelésért és Anyagokért [6].
- 5 Poisson-tényező: a szilárd testek mechanikájában használt szám, amely dimenzió nélküli mennyiség, nem jellemzi az anyag rugalmasságát vagy merevségét, csak azt a módot, ahogy alakváltozást szenved. Egyirányú feszültségi állapotnál a keresztirányú alakváltozás és a hosszirányú alakváltozás viszonya. A tényező elnevezése Siméon Denis Poisson (Pithiviers, 1781. június 21. – Párizs, 1842. április 25.) francia matematikus, fizikus, statisztikus nevéből származik. (A szerk.)
- 6 CAD: Computer-aided design szoftverek, az építő-, építész- és gépészmérnökök alapvető tervezőeszközei. A CAD-programok a 2D (síkbeli) vektorgrafika alkalmazásán rajzoló rendszerektől a 3D (térbeli) parametrikus felület- és szilárdtest modellező rendszerekig a megoldások széles skáláját kínálják. (A szerk.)
- 7 FEM: Finite Element Method a jelenleg legmodernebbnek tekintett eljárások a végeselem módszer (VEM) segítségével írják le a szerkezetek mechanikai viselkedését, amely lényegében egy numerikus módszer, parciális differenciálegyenletek közelítő megoldására. (A szerk.)

HADITECHNIKA FOLYÓIRAT

A *Haditechnika* folyóirat korábbi számai megvásárolhatók:

Líra Könyvruház, Récsei Center 1146 Bp., Istvánmezei út 6., (telefon: 411-1543);
Stúdió könyvesbolt 1138 Bp., Népfürdő u. 15/D, (telefon/fax: 359-1964, 359-6461);
HM Zrínyi Nonprofit Kft. Ügyfélszolgálat (Budapest II., Fillér u. 14.)
Nyitvatartás: H.–P. 9–15 óra; ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu.