

CORVUS RACER 540 TERVEZÉSI, GYÁRTÁSI ÉS TESZTELÉSI CAE ALAPOKRA HELYEZETT MUNKAFOLYAMATAI

BEVEZETŐ

Hosszú évek során összegyűlt tervezői, gyártói és üzemeltetési tapasztalatok birtokában mondtunk *igent* 2008 augusztusában egy merőben új, nagyteljesítményű, nagy terhelhetőségű, nagy manőverező képességű repülőgép kifejlesztésére.

A legmagasabb színvonalú *szinkronmodellezési CAE technológiát megvalósító Solid Edge ST* alkalmazása nagymértékben járult hozzá ahhoz, hogy a Corvus Aircraft Kft hét hónap alatt kifejlesztette és legyártotta a versenyrepülés legújabb modelljét a CORVUS RACER 540 típust (1. ábra), melyen előzetes tervek szerint Magyarország legkiválóbb pilótája *Besenyei Péter* repül majd a *Red Bull Air Race* versenysorozat keretében. A fejlesztés egyes lépéseiben részt vettek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók, Polimertechnika, Anyagtechnológia Hegesztési Osztály és Gép szerkezettani Intézet tanszékei is, valamint a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülő és Légvédelmi Intézete.



1. ábra – CORVUS RACER 540

¹ okl. gépészmérnök, Corvus Aircraft Kft tervező és szerkezeti mérnök, ZMNE RLI repülőmérnöki tudományok PHD hallgató, Corvus Aircraft Kft H-6035 Ballószög, II. körzet 35, e-mail: csaba.farkas@corvus-aircraft.hu

² okl. gépészmérnök, Corvus Aircraft Kft műszaki és fejlesztési igazgató, Corvus Aircraft Kft H-6035 Ballószög, II. körzet 35, e-mail: andras.voloscsuk@corvus-aircraft.hu

A repülőgép ünnepélyes bemutatására 2009. március 30-án került sor Budapesten a Kempinski Hotel Dísztermében, majd ezt követően Európa egyik legnagyobb repülőgép kiállításán Friedrichshafenben debütált.

A gép szilárdsági és földi bevizsgálása már megtörtént, jelenleg a repülési tesztek folynak. Ez a folyamat mindig izgalmas várakozással tölti el a tesztelő csapat tagjait. A repülőgép szerkezeti állapotát egy speciálisan erre a célra kifejlesztett terhelés rögzítő berendezéssel ellenőrizzük. Az eszköz az alkalmazásával olyan visszajelzést kapunk, hogy a tervezés során numerikus és végeselem (*Solid Edge ST-Femap*) kalkulációval számított terhelési adatok, hogyan aránylanak a valós életben tapasztalt értékekhez.

1. ÚT A KORSZERŰ TERVEZŐ RENDSZER BEVEZETÉSÉIG

A Corvus Aircraft Kft által készített első repülőgép a Corvus Corone Mk I típus volt, ami 2005-ben került bemutatásra. E modellünk fejlesztése leginkább hagyományos tervezési és gyártási eszközökkel készült, közel 40.000 munkaórába, négy évbe telt még a repülőgép a levegőbe emelkedhetett. A típus kifejlesztése során szembesültünk azzal a ténnyel, hogy a 2D alapú tervezőrendszerek felett eltelt az idő, ezért 2004 év végén váltottunk át az első 3D-es CAD alkalmazásra. Az akkori igényeink között szerepelt a parametrikus modellezés, a könnyű kezelhetőség lehetősége. Rövidesen Európában majd később világviszonylatban is komoly érdeklődés mutatkozott gépünk iránt. A felgyorsult piaci versenyhelyzet, a vásárlók igényei és az addig szerzett tapasztalatok tették szükségessé az alap repülőgép típus áttervezését és az UL², LSA³, VLA⁴ repülőgép osztályokban történő megfeleltetését. A 2006. január elején elindított sorozatgyártás és az ezzel párhuzamosan történő további típusok fejlesztése CAE tevékenységre épül, melynek része a CAD⁵ / FEA⁶ / CAM⁷ szimultán tervezés. Az eltelt évek alatt több tervező rendszer is bevezetésre került egyes fejlesztési projektek keretén belül, speciális repülőipari szoftverek alkalmazásával együtt.

Mitől jó egy tervezőrendszer?

Ezt a kérdést sokszor feltettük magunknak és a magyarországi CAD szoftverforgalmazó cégek különféle „*marketing fogásait*” nem alapul véve felhasználói tapasztalatainkra építve igyekeztünk a számunkra legoptimálisabb rendszert megkeresni. A CORVUS RACER 540 fejlesztési munkálatainak megkezdéséig bizonyossá vált, hogy a vezető CAD rendszerek tervezési eszközeiben és lehetőségeiben, közel azonos lehetőségek rejlenek. A hangsúly nem a szoftver funkcionálitási eszköz gazdagságán és az abba integrált minél több extra alkalmazások sokaságán múlik, hanem a rendszer üzembiztos működésén. Úgy gondoljuk, hogy egy CAD rendszer attól jó, hogy a nagyobb összeállításokat kiválóan tudja kezelni, alkalmas hibrid⁸ tervezésre, használata során nem áll fenn gyakori kifagyás, felépítési struktúrája könnyen átlátható, kezelése könnyen megtanulható. Tiszteletben tartva a magyarországi szoftverforgalmazó cégek versenypolitikáját, nem áll módunkban itt megnevezni a *Solid Edge*-vel párhuzamosan tesztelt és bevezetésre került rendszereket.

Az általunk alkalmazott szoftverek közül a *Solid Edge V20*, ami teljes mértékben kielégítette tervezői igényeinket. Ennél a rendszernél tapasztaltuk az üzembiztos működést, a gyors algoritmusokat és a rendszer rugalmasságát. A tanulás folyamatát nagymértékben segítette elő, hogy a kezelő és a súgó felület is magyar nyelven állt rendelkezésre, amely véleményünk szerint legjobb a magyarosított CAD rendszereket tekintve. A megújult *Solid Edge* verzió az *ST* pedig olyan lehetőséget nyújt, mely lehetővé tette, hogy egy teljesen új típust közel hét hónap alatt kifejlesszünk és legyártsunk. A 20-as verziónál felsorolt előnyökön túl tapasztaltuk, a rendszer legnagyobb pozitívumát, hogy modelltörténetétől független, így az importált alkatrészek terveit is könnyen tudtuk módosítani. Az *ST* használatával nincs tervezői korlát az alkatrész módosítása során, nem problematikus a változtatás és nem szükséges a már meglévő vagy régebbi elemek újratervezése összeállítási szinten sem.

A CORVUS RACER 540 prototípus fejlesztése lezárásával világossá vált számunkra, hogy mit jelent az optimális tervező rendszer. Úgy gondoljuk, sikerült megtalálnunk a CAD piacon számunkra legjobb megoldást. A *Solid Edge ST* egy olyan közepes méretű vállalkozás számára, mint a Corvus Aircraft Kft kielégítő, mert gyors, rugalmas, produktív a nagyoösszeállítások során, folyamat alapú alkalmazásokat támogat, páratlan együttműködési képességgel rendelkezik az importált geometriák kezelése során, és ami a legfontosabb üzembiztos.

2. A TERVEZÉSI FOLYAMATOK BEMUTATÁSA AZ ELŐTERVEZÉS ÉS AZ ALKALMAZOTT CAD TEVÉKENYSÉG

2. 1. AZ ELŐTERVEZÉS FOLYAMATAI

Az előtervezés során felállított koncepciók között szerepeltek a tervezendő repülőgép következő tulajdonságai:

- ➔ nagy repülési sebesség elérése, ebből adóan magas manőverezési sebesség legalább 310-320 km/h vagy efelett,
- ➔ az ellenállás minimalizálása, a versenyen repülő többi típushoz képest minél áramvonalasabb forma kialakítása,
- ➔ a leggyakrabban végrehajtott manőverek alapos tanulmányozása (2. és 3. ábrák), erre a repülési manőverekre történő optimalizálása a repülőgép alakjának és kormánysszerveinek,
- ➔ legkisebb szerkezeti tömeg elérése, korszerű anyagok és gyártástechnológia alkalmazásával,
- ➔ magas szerkezeti terhelhetőség, üzemeltetési tartományban +12g és -12g túlterhelési faktor biztosítása,
- ➔ maximális felszálló tömeg MTOW = 685-700 kg között,
- ➔ szárnyból az üzemanyag tankok elhagyása az orsózó képesség javítása céljából,
- ➔ a repülési manőverekből a szerkezetben ébredő szilárdsági feszültségek és nyúlások on-line monitorozása az eredményekből a statikus és a kifáradási szilárdság pillanatnyi kiértékelésének lehetősége.

Az előtervezés során a következő munkafolyamatokat hajtottuk végre:

- repülőgépfarmák CAD alapú tervezése,
- az előtervezett formák áramlástanai vizsgálatait,
- elsődleges aerodinamikai számítások (profilválasztások, kormány kitérések előzetes megállapítása),
- előzetes súlypontszámítás minimális és maximális felszálló tömegre,
- stabilitás vizsgálatok,
- előzetes teljesítményszámítás,
- terhelés kalkulációk (légerő terhelések, manőver diagramok, lökésterhelés számítások, kormányrendszer méretezése, futómű terhelések),
- szerkezeti elemek szilárdsági méretezése,
- kompozit szerkezeti elemeknek rétegrend kalkulációja.



2. ábra – A pilonok közötti késrepülésre optimalizált alak és csűrő kormányrendszer szükségessége



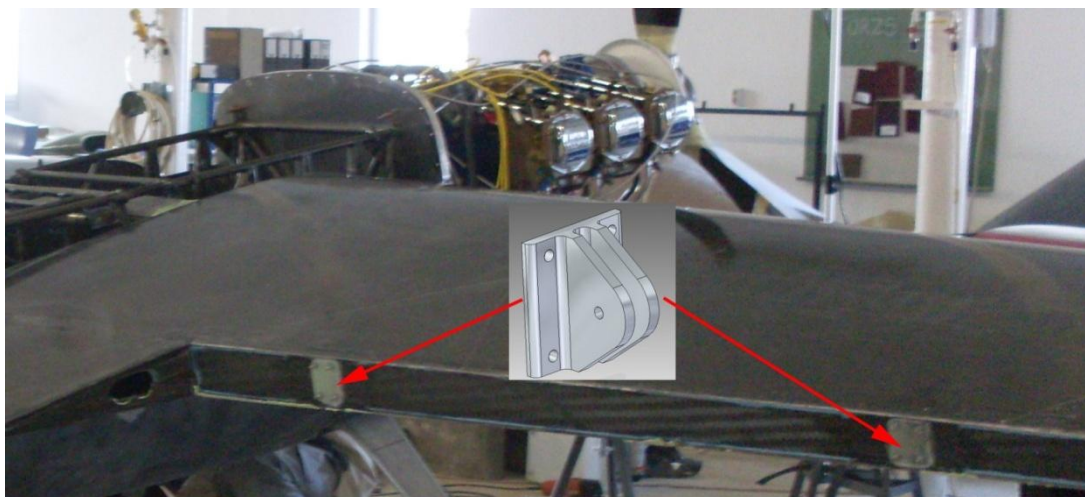
3. ábra – A pilonok közötti forduló váltásokra optimalizált alak és csűrő kormányrendszer szükségessége

2. 2. MERŐBEN ÚJ CAD TECHNOLÓGIAI INNOVÁCIÓ – SZINKRONMODELLEZÉS ALKALMAZÁSA

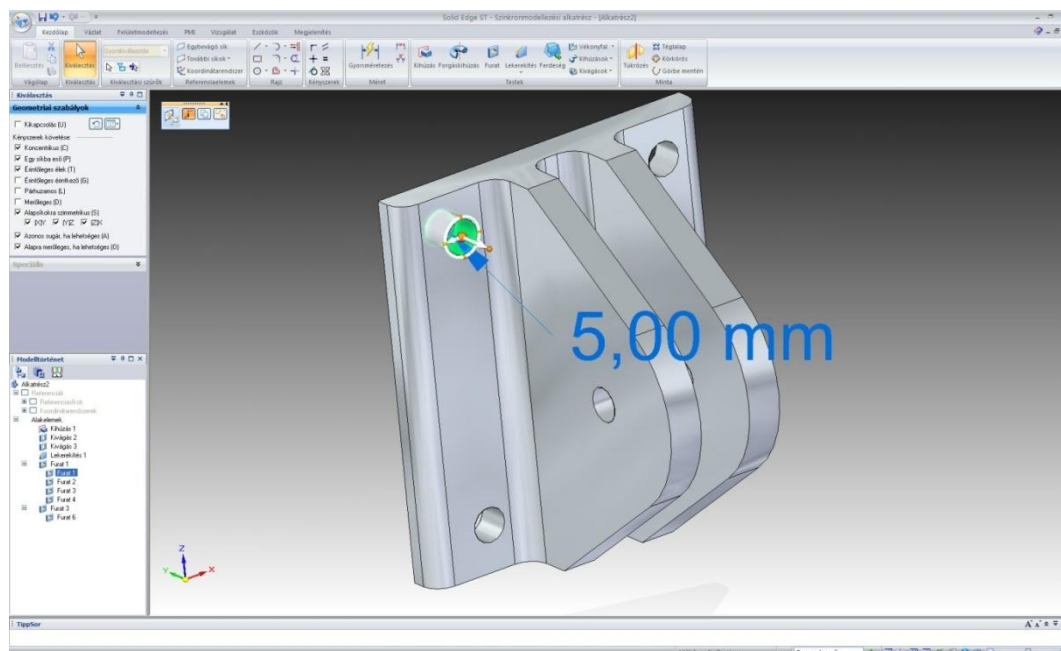
A repülőgép tervezésének kezdetekor a *Solid Edge ST* és az abban megtalálható szinkronmodellezési technológia nagyon új rendszer volt, ezért kissé idegenkedtünk annak használatától. Bizonyos elemek a *Solid Edge V20-al* és az *ST* hagyományos modellezési eszközeivel készültek el. A szoftverforgalmazó cég a GraphIT Kft által készített segédanyagok áttanulmányozását követően kezdtük megérteni az új alapokra fektetett modellezési elv alkalmazásának előnyeit. Hamarosan világossá vált a nem vázlatalapú modell építés egyik legfőbb előnye, amelynek lényege, hogy az importált (más CAD rendszerből beolvasásra kerülő) elemek is igen könnyedén módosíthatók és formálhatók *Solid Edge* tervezői munkakörnyezetben.

Megtapasztaltuk, hogy a szinkronmodellezési eszközzel létrehozott alkatrészek tervezési és felépítési ideje közel 50-60%-kal csökken, mintha az egy hagyományos vázlatalapú CAD rendszerrel szemben. Ennek a technológiának az alkalmazásával elegendő a modell felépítése során méretek nélküli vázlatból generált bázis alak sajátosság létrehozása, majd arra építve a bővített és további gyártási alak sajátosságok létrehozása. A geometriailag felépített, de alakilag és funkcionalitás szempontjából fél kész alkatrész a méret és felület kényszerekkel gyorsan készre alakítható, majd ezt követően már vázlat nélküli felületekként módosítható. A kiinduló vázlatok oly annyira szükségtelenek, hogy azok a modelltörténetben nem is szerepelnek, ha akarjuk, törölni azokat meglehetjük.

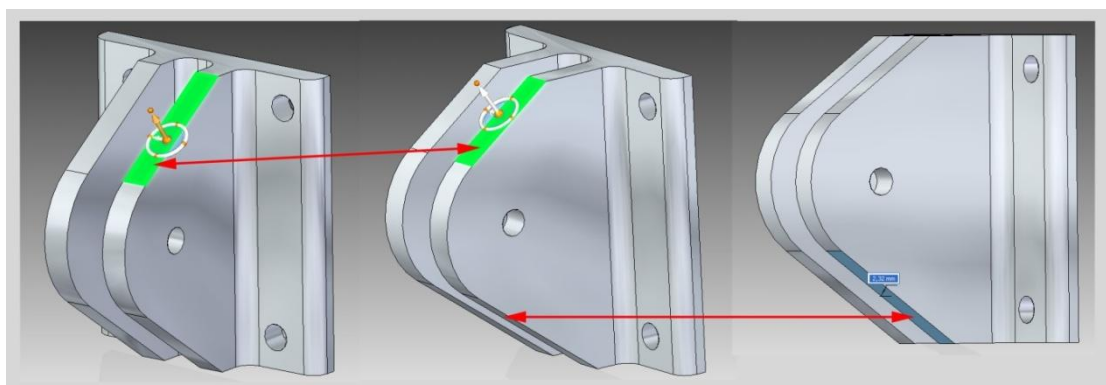
Tervezés során még sokszor sok mindent nem lát át a konstruktőr. A szerkezet funkcionalitásának ellenőrzésére akkor kerülhet sor, amikor egy szerelési környezetben a rész összeállítást globálisan vizsgálhatjuk. Tervezői tapasztalataink azt mutatják, hogy legtöbbször a legegyszerűbb alkatrészek módosítása okozza a legtöbb fejtörést, mert azok vannak a legnagyobb kihatással minden elemre. A 4-es ábrán látható darab a repülőgép szárny kilépőél mentén elhelyezett csűrőlap egyik bekötési csomópontja, ami teljesen készre mart. A csűrőlap funkciója, hogy a repülőgépet a hossz tengelye mentén forgásba vigye, ezzel valósíthatók meg a fordulók és műrepülés alkalmával az összetett figurák során is alapvető szerepet tölt be. A bekötési csomópont tervezésekor annak végleges pozíciója, alakja, a felfogató furatok elhelyezése a csatlakozó furat mérete és helyzete még nem volt ismert. Csak a szárny szerkezet és a csűrőlap szerkezeti felépítését követően, amelynek alapja az áramlástani vizsgálatokból megismert erők szilárdsági méretezésben való alkalmazása és a számításokból adódó feszültségek megismerése volt, tudtuk a végleges modellt elkészíteni. Érdekességgé megemlíthjük, hogy mikor a repülőgép $V=335$ km/h sebességgel repül, és 12g túlterheléssel hajt végre egy manővert a csűrőlapon kb. 6.300 N (640 kg) légerő lép fel. Szilárdsági vizsgálatok során változhat a darab vastagsága, furat és az általános befoglaló méretek. A kinetikai mozgás szimulációk során vált láthatóvá, hogy a csűrőlap kitérítési szöge megfelelő és a mozgás során nincsen interferenciában más elemekkel. Miután minden megfelelő volt, el tudtuk készíteni az előtervezett bekötést, és a szinkronmodellezési technológia rugalmas eszközeivel gyorsan és hatékonyan változtatni az alak és gyártási sajátosságokat. A következő ábrákon látható néhány olyan eszköz, és a *Solid Edge ST* egyedülálló képessége, melynek segítségével a módosítás egyszerűen megtörtént.



4. ábra – Csűrő csatlakozási forgási csomópont a szárnyon



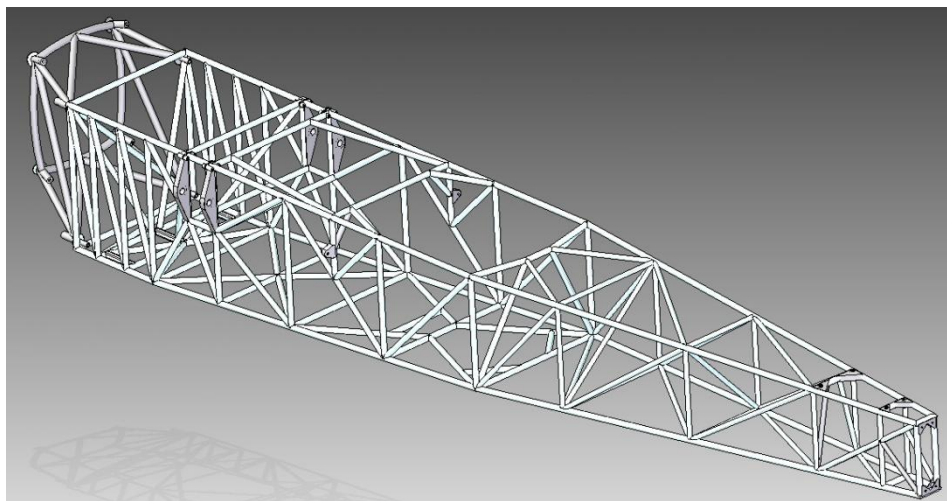
5. ábra – A furat pozíciója egyszerűen megváltoztatható a „kormánykerék” segítségével



6. ábra – A bekötés változtatása, nem a vázlatból történik, hanem a felület mozgatásával egyszerűen és rugalmasan

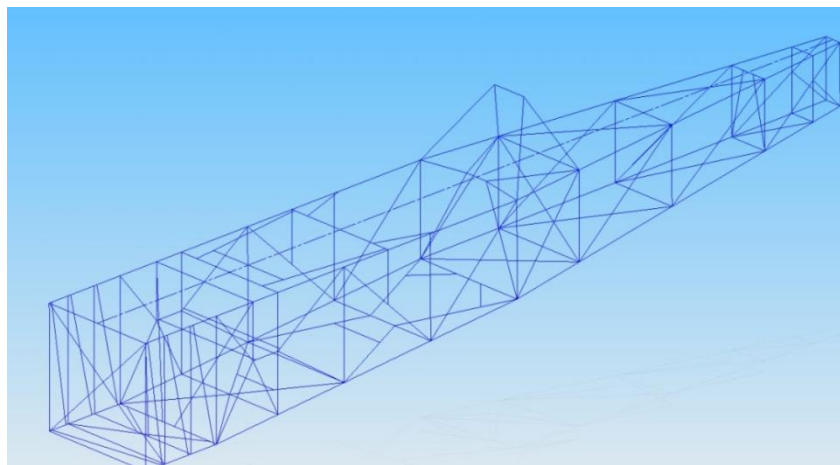
2. 3. A REPÜLŐGÉP TÖRZS RÁCS SZERKEZETÉNEK TERVEZÉSI FOLYAMATA

A repülőgép fő szerkezeti elemének *Solid Edge ST* rendszerben készített CAD modellje az 7. ábrán látható. A modellezés a tartószerkezet alkalmazás segítségével történt.



7. ábra – Törzs rács Solid Edgeben készült modellje

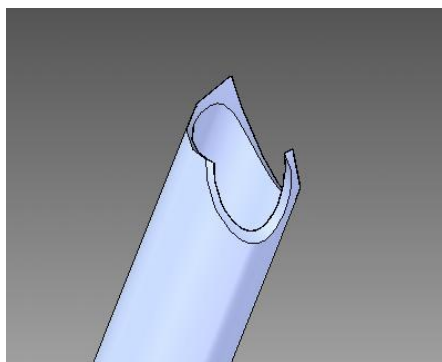
A törzs rács funkciója többszörösen összetett, és szilárdsági szempontból a legkritikusabb elem. Csatlakozó csomópontokban ébrednek a koncentrált nyíróerők, példaként említve a szárny bekötési pontban kritikus terhelés esetén $F = 61.000\text{ N}$ nyíróerő lép fel oldalanként. A rácshoz kapcsolódik minden elem; a szárny, a vezérsíkok, a futóművek, a motor, ebben kerül elhelyezésre az üzemanyagrendszer, a műszerek, a mozgató rudazatok és a pilóta. A váz szerkezet alapja a 3D drót modell (8. ábra).



8. ábra – A törzs tervezésének alap drótváz modellje

Ennek megrajzolását követően az általunk létrehozott csőszelvények megadása után, figyelve a csatlakozási csomópontok gyártási követelményeire alakult ki a hegesztett váz. Az egyes csövek illesztése során tapasztaltuk a rendszer intelligens képességét, ami abban nyilvánul meg, hogy folyamatosan figyel a már meglévő és újonnan beépítésre kerülő elemek aktuális helyzetére. A hegesztési technológiát, a varratok szilárdsági vizsgálatát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtechnológia Tanszékével közösen végeztük el Dr.

Palotás Béla segítségével. A rács gyártástechnológiája során először az alsó és felső keret kerül összehegesztésre, ezt követően a függőleges elemek bekötése következett, majd a kereszt és végül a diagonál merevítő elemek varratai kerültek kialakításra. A tartószerkezet tervezése is ebben a sorrendben történt, az egyes elemeket ennek megfelelően lépésről-lépésre illesztettük rá a 3D drótváz modellre. A modellezés befejeztével a gyártáshoz vágási lista és darabjegyzék állt rendelkezésre és minden elemről az önálló alkatrész modell. A tervezőrendszerbe az alkalmazott csövek anyagminőségét (25CrMo4) megadva már a fejlesztés legelején tudtuk a rács tömegét. A 9. ábrán látható az összetett alakú cső végkialakítása, mely a tervezett rácsból generált önálló alkatrész. Minden elemről készült ilyen modell, mely annak adta alapját, hogy CAM szoftveres munkakörnyezetben a csőmaráshoz szükséges NC vezérlőprogramok elkészítése megtörténhessen. Sok esetben annyira bonyolult csatlakozások adódtak, hogy azt CAE alkalmazások megléte nélkül csak hosszas munkafolyamatok során lettünk volna képesek kialakítani.



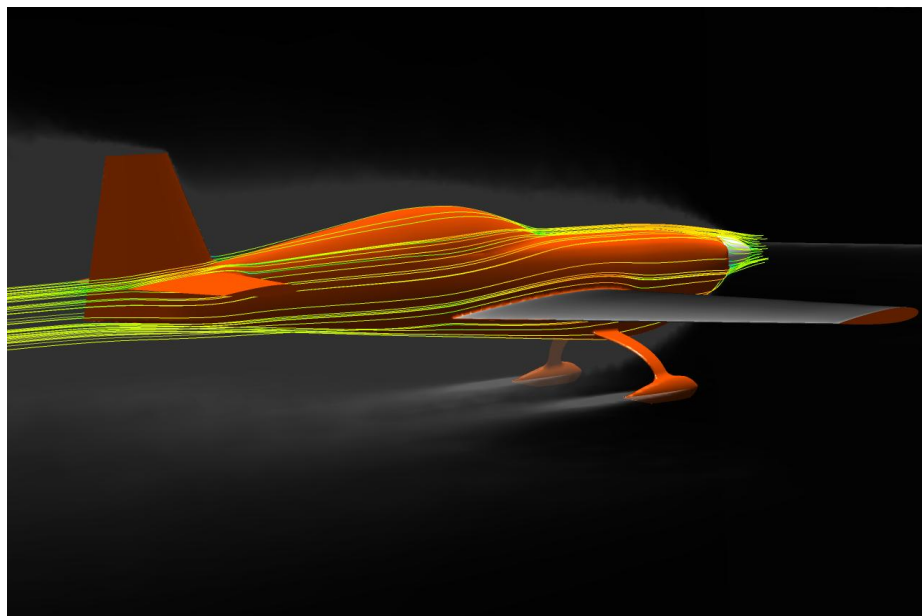
9. ábra – Csővég kialakítás

A rács tervezése úgynevezett párhuzamos vagy szaknyelven szimultán eljárással történt, a tervezéssel együtt a szilárdsági méretezés, ellenőrzés is folyamatban volt. A *Solid Edge ST* rugalmasságát kihasználva a numerikus szilárdsági kalkulációkat alapul véve több rács elrendezést is készítettünk. Ezeket külön-külön egymástól független FEA alkalmazásokban vizsgáltuk.

3. SZIMULÁCIÓS FEA ALKALMAZÁSOK A FEJLESZTÉSBEN

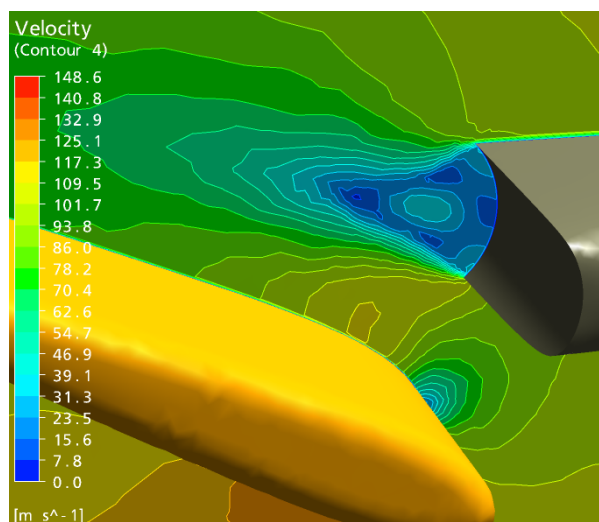
A korszerű repülőgép tervezés folyamatának alapvető eszközei és részei is a különböző FEA alkalmazások, melyek segítségével virtuális szélcsatorna vizsgálatok és szilárdsági terhelésszámítások is elvégezhetők. Ezek segítségével a munkafolyamatok nagymértékben meggyorsíthatók és nem szükséges valós prototípusok és próbadarabok legyártása, így a fejlesztési költségek is csökkenthetők. A szimulációs vizsgálatok alapja a már korábban megtervezett CAD modell, ami a virtuális munka környezetben a megjelenítési tulajdonságokon kívül anyagtulajdonságokkal is rendelkezik. Ebből adódóan a virtuális testen fizikai vizsgálatok elvégezhetők. A tervezés egyes szakaszaiban több ilyen jellegű vizsgálatot elvégeztünk, az aerodinamikai számítások során áramlástan elemzések, a szerkezeti méretezésekkor kinetikai és szilárdsági elemzéseket hajtottunk végre szoftveres környezetben. A 10. ábra a virtuális szélcsatornában vizsgált repülőgépet

szemléltet, mely során sikerült kielemeznünk, hogy a csűrőlap kapa része előtti szárnyvég kilépő élnek miként alakítsuk ki optimálisan az alakját.

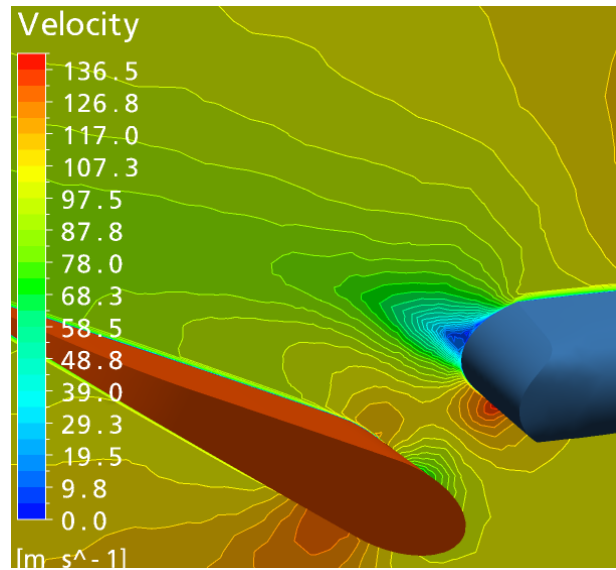


10. ábra – Virtuális szélcsatorna vizsgálat az optimális alak kialakítás megtalálása céljából

Az elemzések során kiderült, hogy az ellenállás egy visszagömbölyített áramvonalazott kilépő él esetén közel 2-3%-al csökkenthető, ha azt egész repülőgépre vonatkoztatjuk. A 11. ábra mutatja azt a képet, ami általánosságban alkalmazásra került a jelenleg használatban leggyakrabban elterjedt műrepülőgépek esetén (Extra 300, Edge 540). A 12. ábra pedig az általunk optimalizált végkialakítást szemlélteti, ami az ellenállás nagyságát a helyi szektorban közel 450 N-vel (Newton) csökkenti.

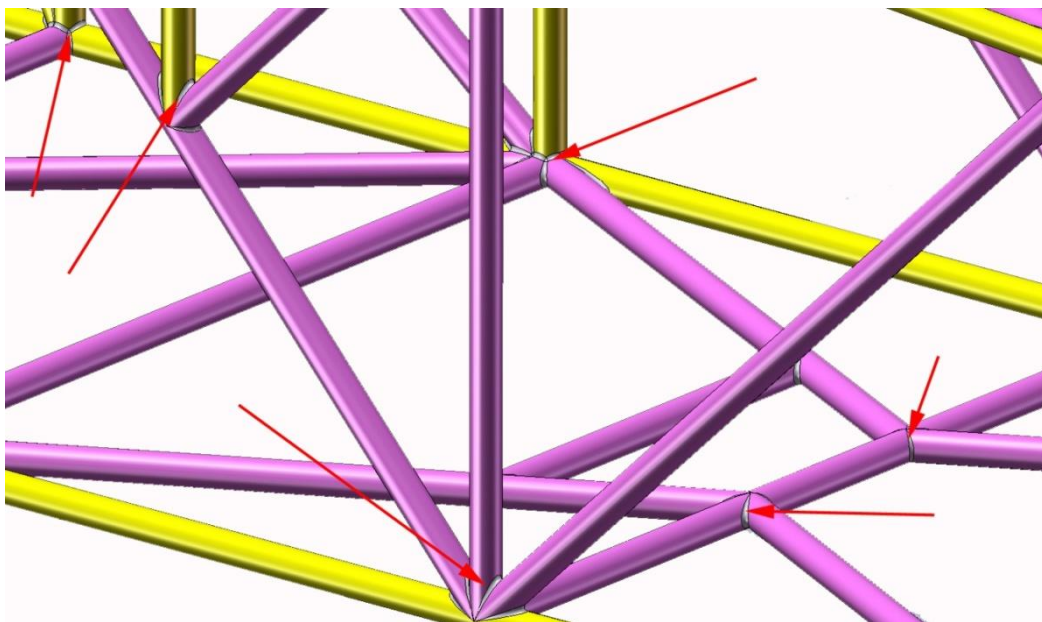


11. ábra – Szárnyvég kilépőél kialakítás homorú, sarkos átmenettel, nagy örvény zónát alakít ki

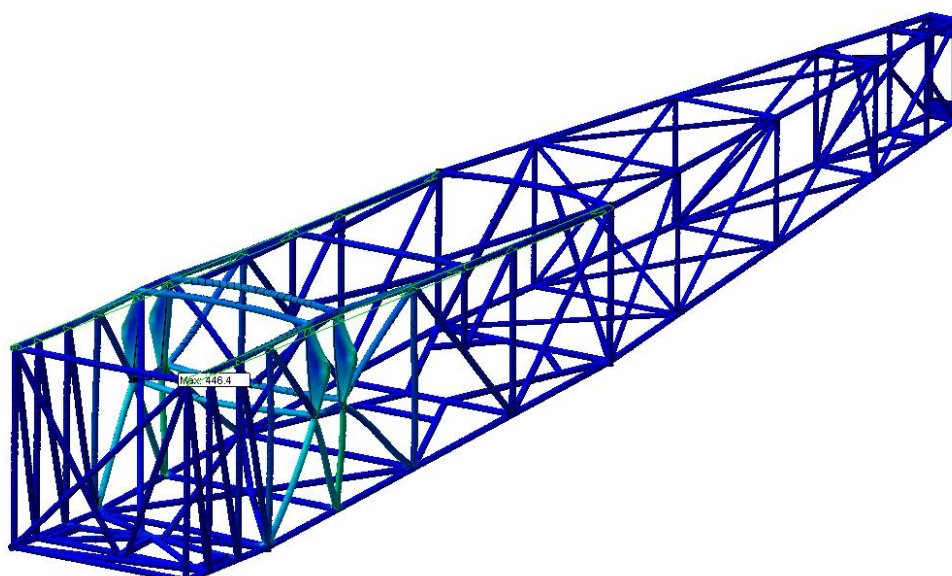


12. ábra – Optimalizált szárnyvég kialakítás domború, visszagömbölyített átmenettel, jelentősen csökkenti az örvény zónát

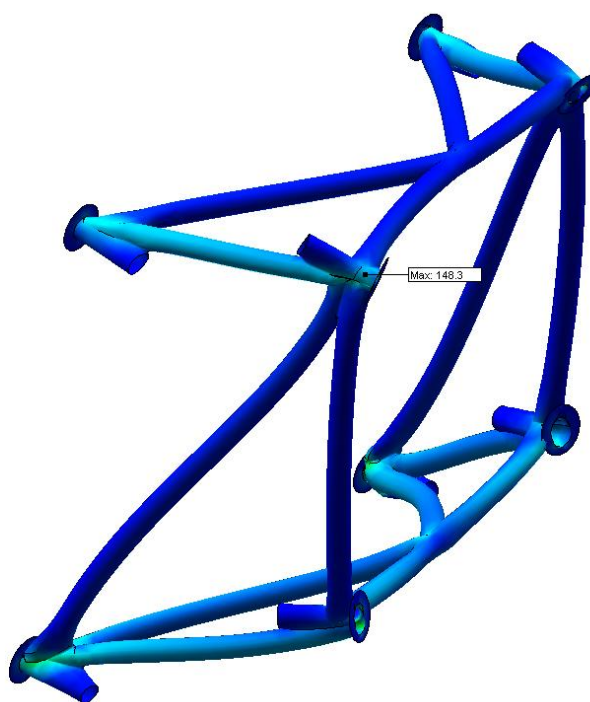
Más jellegű, de hasonló elven végbemenő szimulációs számításokat alkalmaztunk a szerkezeti elemek szilárdsági méretezése során. Az egyik legérdekesebb elemzéseket a törzs rácsszerkezeten és a motortartó bakon hajtottuk végre. Szimuláltuk a szárnyakon, vezérsíkokon fellépő légerők keltette nyíróerők hatását a törzs bekötési és csatlakozási csomópontjaiban. A 13. ábra a szilárdsági méretezéshez előkészített modellt mutatja. Látható, hogy a valóságnak megfelelően igyekeztünk a hegesztési csomópontokat modellezni, a varrat kialakítások rádiusz átmenetei a hegesztett állapotnak megfelelő alakot szemléltetik. A 14. és 15. ábra a szerkezeti elemek deformációs képét mutatja.



13. ábra – A rácsszerkezet szilárdsági vizsgálatához előkészített CAD modell, melyen a hegesztési csomópontok varratai a valóságban létrejövő állapotot tükrözik



14. ábra – A rácsszerkezet szilárdsági vizsgálata a szárny légerőből származó nyíróerő estén 18g túlterhelés hatásakor létrejövő feszültség és deformáció

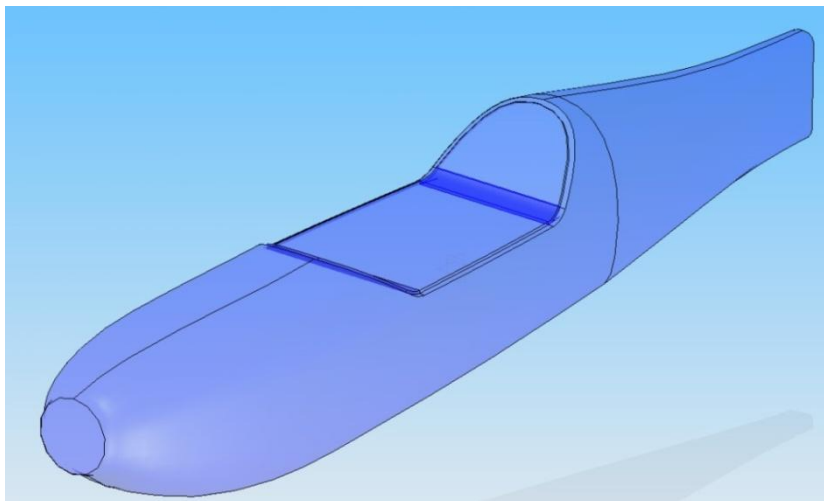


15. ábra – A motortartó bak a kritikus oldalterhelés esetén fellépő deformációs képe

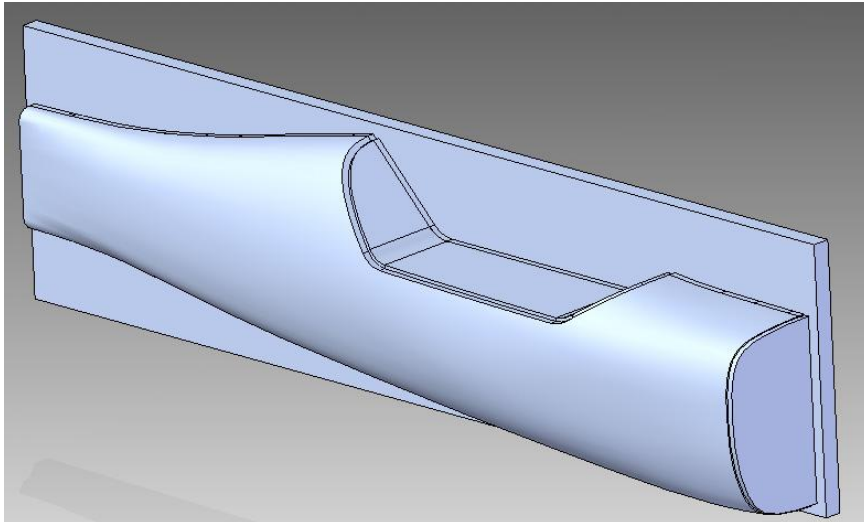
4. SZERSZÁMTERVEZÉS ÉS A GYÁRTÁS MEGTEREMTÉSÉNEK FELTÉTELEI

A szimultán tervezés legnagyobb előnye, hogy egy létrehozott modell több mindenre is alkalmas, azokon egyszerre több vizsgálat is elvégezhető. Felületmodellezéssel hoztuk létre az áramvonalazott elemeket. Ezt követően azokat áramlástan vizsgálatok alá vetettük, hogy a legoptimálisabb forma kialakítását elérhessük. Az aerodinamikai elemzések nyomás és erő eloszlásokat eredményeztek, melyeket a szilárdsági számításokhoz használtunk fel.

A *Solid Edge ST* rendszerben egyszerűen készíthetők a már meglévő felületekből szerszámok. Az *osztógörbe* és *osztófelület*, illetve a *szétvágás* parancsok alkalmazása rendkívül meggyorsítja a szerszám tervezés folyamatát, végül pedig a felületből egyszerűen állt rendelkezésre a vastagsággal rendelkező formatest. A rendszer e képességét használtuk ki a kompozit elemek forma sablonjainak tervezésénél. A munkafázis e részében sokat gondolkodtunk azon, hogy negatív forma üreget készítsünk-e el, mely a marási munkálatokat követően azonnal egy kész szerszámot eredményez, vagy pozitív ösmagokból mi magunk alakítsuk majd ki a szerszámokat. Néhány negatív próba sablon megmunkálását követően bebizonyosodott, hogy a tervezett CAD / CAM modell és a mart üreg közel 0,5-1 mm-es pontossággal követik egymást. Ebből adódóan minden szerkezeti elem negatív gyártószablonja készült el, kivéve a törzset, mert a tervezés korai szakaszában még nem volt információnk a motor pontos típusáról. Két lehetséges hajtómű jöhetett számításba, melyeknek boxer elrendezésből adódóan a méretük különböző, ettől pedig a motorburkolat mérete függött, melyet nem tudtunk virtuálisan megtervezni, ez később kézzel került kialakításra a pozitív magra építéssel, habból. A 16. ábra a *Solid Edge ST*-ben tervezett törzs modellt mutatja, még a 17. ábrán ennek fél pozitív magja látható, a 18. ábra pedig a kimart mag összeragasztva.



16. ábra – A törzs Solid Edge-ben tervezett CAD modellje

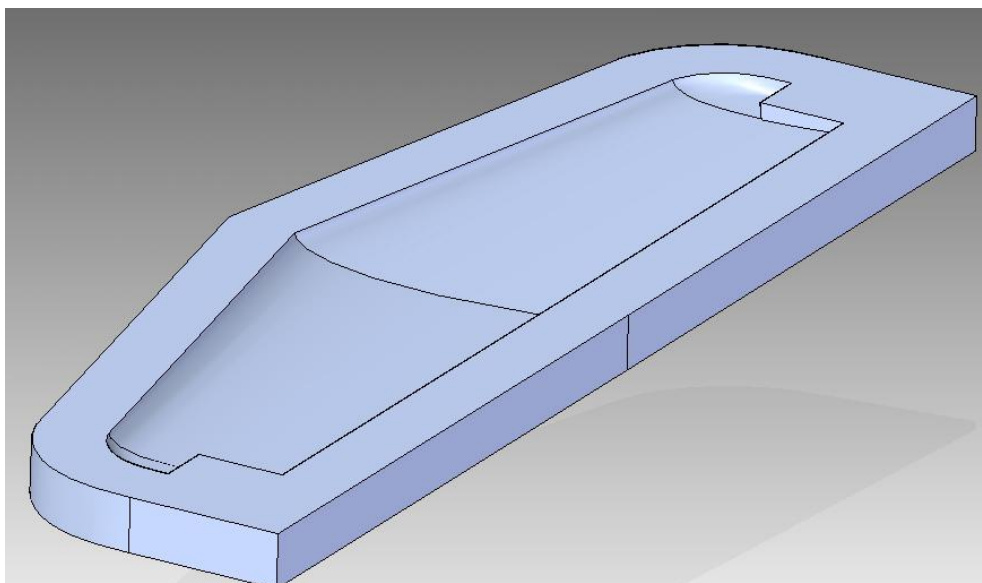


17. ábra – A törzs jobb fél pozitív magja Solid Edge-ben előkészítve szerszámgyártáshoz a technológiai oldalperemezésekkel



18. ábra – A két mart félből összeillesztett törzs pozitív ősminta a gyártócsarnokban

A 19. ábra a vízszintes vezérsík negatív forma üregtét mutatja, még a 20. ábrán ugyanennek az elemnek már a mart és gyártás közbeni állapota látható.



19. ábra – Vízszintes vezérsík negatív formaüreg modellje



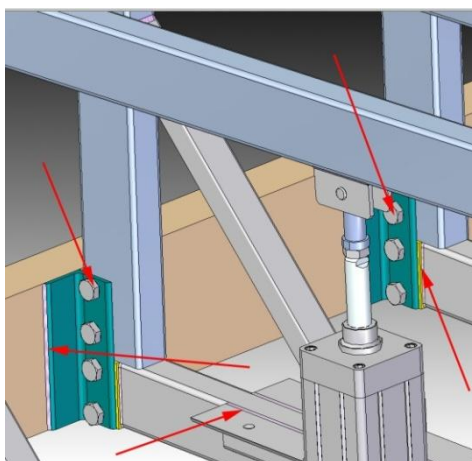
20. ábra – A vízszintes vezérsík gyártása a mart negatív forma sablonban

5. A SZILÁRDSÁGI BEVIZSGÁLÁS

Fejlesztés során a legnagyobb kihívást a repülőgép egyes szerkezeti elemeinek szilárdsági bevizsgálása jelentette. Mivel nagy terhelhetőségű dinamikus műrepülőgép sárkányszerkezetét kellett megalkotni már a normál megengedett ún. limit terhelések értékei is igen magas értékre adódtak. Az engedélyezett üzemeltetési terhelési többes $+12g$ és $-12g$, a számított szilárdsági méretezési tartomány pedig átlagosan az előírások értelmében 1,5 bizonyos szerkezeti elemekre azonban 1,875 biztonsági tényezővel került kiszámításra. Ebből

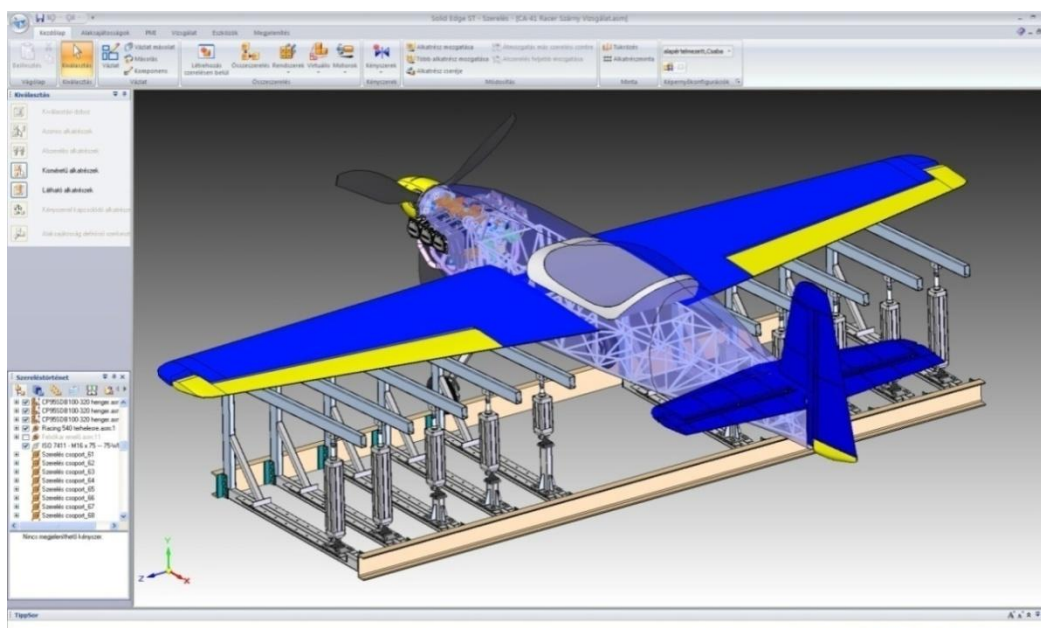
adódóan a sárkány szerkezeti elemeknek 18g és vagy 22,5g túlterhelési érték mellett is biztosítania kell a kívánt szilárdságot. Az aerodinamikai és repülésmechanikai számításokból ébredő légerőkkel végeztük el a szilárdsági méretezést, és azok földi körülmények közötti szimulált működtetésével kellett bevizsgálni a szerkezetet. Az általunk kalkulált értékeket több soron egymástól függetlenül ellenőriztük, melyben segítségünkre volt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszéke részéről Dr. Rohács József és a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülő és Légvédelmi Intézet részéről Dr. Óvári Gyula.

A szilárdsági bevizsgálás gondos megtervezéséhez szintén a *Solid Edge ST* tervezőrendszert használtuk. Egy már meglévő, egyedi statikus és fárasztó kísérletekhez épített pneumatikus terhelőpad átalakítását kellett elvégeznünk. Alapvető problémát az jelentette, hogy a működtető hengerek terhelőerő kifejtése nem volt elegendő ahhoz, hogy direktbe a profil 25-30%-a környékén, a valós körülmények között fellépő légerő eloszlást szimulálhassuk. A szerkezet átalakítása mellett döntöttünk és egy karáttes rendszeren keresztül csatlakoztattuk a terhelő elemeket. Az *Solid Edge ST* e tervezési szakaszban is bizonyította képességét, a nagy összeállítások alatt sem akadt, túlzottan nem növekedett a fájl mérete és a számítások algoritmusai is megfelelő gyorsasággal történtek. A terhelőpadot igyekeztünk a legapróbb részletességig kidolgozni, így azokra rákerültek a hegesztési varratok, a bekötési csomópontok és a kötőelemek nagy része is, melynek részletei a 21. ábrán láthatók.



21. ábra – A legapróbb részletek kidolgozása az összeállításban hegesztési varratok és kötőelemek

A rendszer igazi próbatételére akkor került sor, mikor a terhelőpad összeállításba a repülőgép modelljét kellett bepozícionálni és a hengerek mozgás analízisét lefuttatni (22. ábra). Ekkor került kihasználásra a *Solid Edge ST* egyedülálló képessége az elemek aktív-inaktív alkalmazásának használatával. Az inaktív állapotban levő alkatrészek csak megjelenítéshez szükséges információkat tartalmaztak a memóriában, még az aktív részek jelen esetben hengerek, mozgató karok a fizikai tulajdonságokat is hordozták, így azokon a szimulációk elvégezhetők voltak.

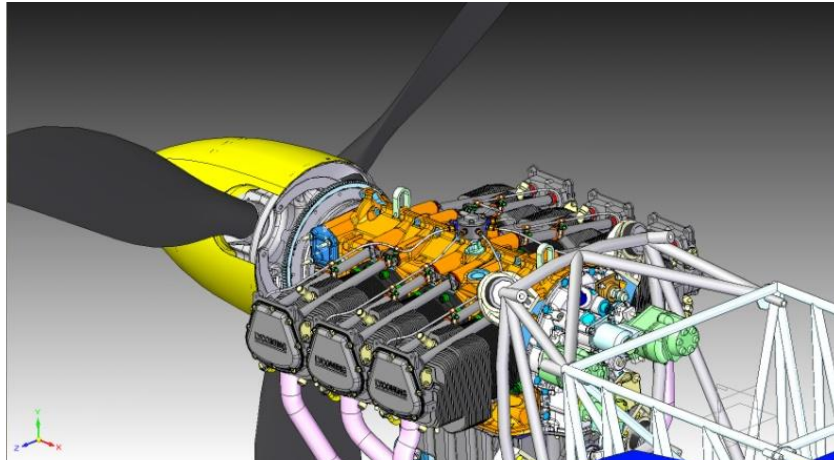


22. ábra – CORVUS RACER 540 szilárdsági bevizsgálás előkészítés tervezése
Solid Edge ST rendszerrel



23. ábra – CORVUS RACER 540 szerkezete a szilárdsági bevizsgáláskor

A 22. ábrán látható összeállításban közel 3000 darab alkatrész került beépítésre (melyből csak maga a motor – 24. ábrán - közel 1000 darab), az egész összeállítás fájl mérete 321 MB volt, de nem tapasztaltuk a rendszer bármiféle rendellenes működését. A nagyítás és forgatás parancsok alkalmazásakor is úgy viselkedett a *Solid Edge ST*, mint ha egy önálló alkatrész tervezésén dolgoztunk volna.

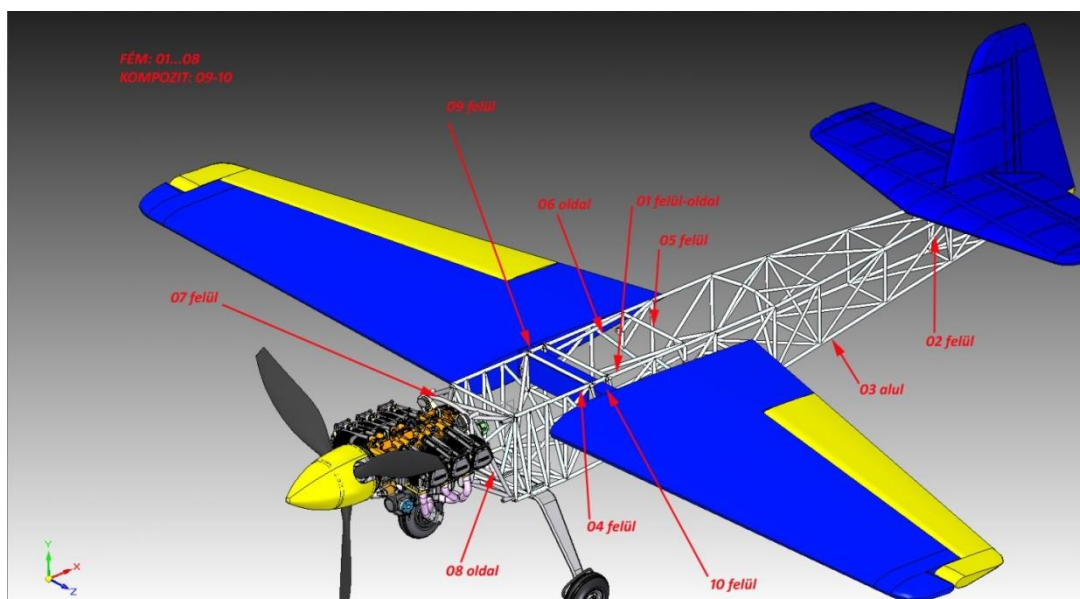


24. ábra – CORVUS RACER 540 erőforrása a LYCOMING IO-540
MT-3 propellerrel szerelve 350 lóerő

6. SZILÁRDSÁGI ÁLLAPOT FIGYELŐ RENDSZER FEJLESZTÉSE REPÜLSBIZTONSÁGI RENDEZŐELVEK ALAPJÁN

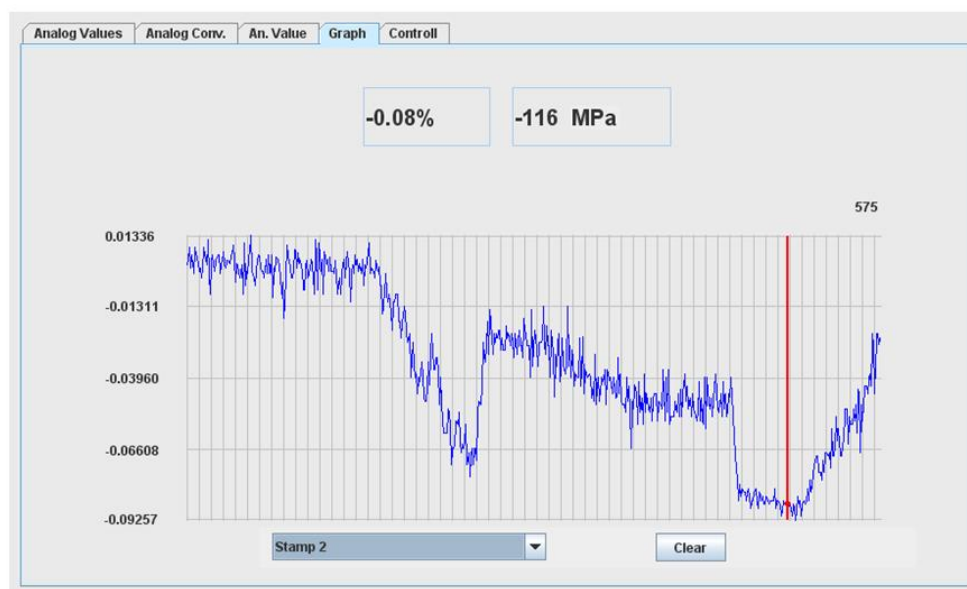
A CORVUS RACER 540 nagy terhelhetőségű speciálisan az air race versenysorozatba kifejlesztett repülőgép. Ez tette indokoltá egy egyedi fejlesztésű terhelés rögzítő berendezés megépítését, mely segítségével a szerkezeti elemeken ébredő külső erőhatásokból ébredő feszültségek mérhetők, tárolhatók és elemezhetők. A berendezés segítségével egy több lépcsős kontrollt alkalmazunk és repülésbiztonsági szempontokat figyelembe véve állapítjuk meg a szerkezeti elemek terhelhetőségének tartományait. A vizsgálat elsődleges célja, a visszacsatolás, hogy a szilárdsági numerikus és végelem kalkulációk eredményeit összehasonlítsuk a földi szerkezeti bevizsgálás és a valós légerők okozta hatásokkal. Ebből adódóan a számítások során alkalmazott módszerek és peremfeltételek megfelelősége, azok jósága ellenőrizhetővé válik. Másodsorban pedig megállapítható, hogy az egyes túlterhelések okozta *g hatások* fellépésekor a szerkezet milyen deformációt szenved, az ébredő nyúlások mennyire közelítik meg az anyagszerkezetek rugalmas tartományának szélső értékeit.

A rendszer fejlesztését az SGF Technológia Fejlesztő Kft-vel közösen végeztük el, akik igényeinknek megfelelően építették meg a terhelés regisztert és alkották meg a működéshez szükséges vezérlő szoftvert. A DABAS fantázianevű berendezés 16 mérő csatornán képes mérni, mintavételezési sebessége másodpercenként 100 darab minden külön telepített szenzor esetében (egy szenzor egy csatornának felel meg). A 25. ábrán látható a jelenleg alkalmazásra kerülő 10 mérőpont, ahová nyúlásmérő bélyegek kerülnek felhelyezésre, hogy az ott fellépő helyi feszültségek regisztrálása megtörténhessen.



25. ábra – CORVUS RACER 540 repülőgépen elhelyezésre kerülő szenzorok, mely segítségével a szerkezetben fellépő feszültségek mérhetők

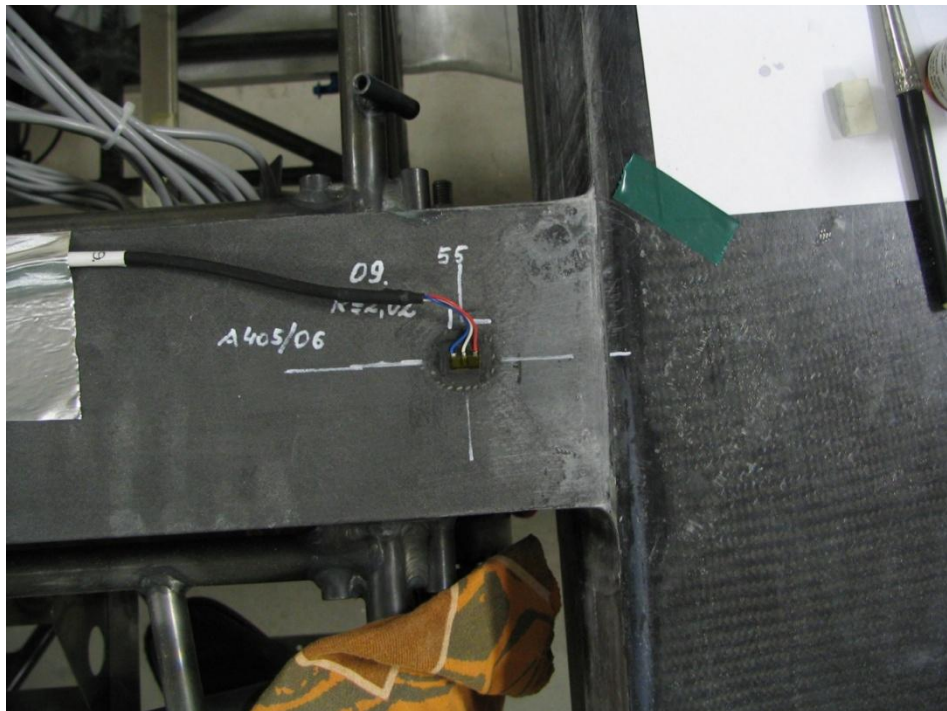
A rendszer intelligens alkalmazása abban nyilvánul meg, hogy a kiértékelő szoftver a nyúlásokat [%] automatikusan átszámítja feszültségre [MPa] így az elemzések alkalmával mindkét értékről elsődlegesen kapunk információt. A 26-os ábrán a szoftver kiértékelő felülete látható, még a 27-es és 28-as ábrák nyúlásmérő bélyeg elhelyezését szemléltetik.



26. ábra – A DABAS rendszer kiértékelő felülete



27. ábra – Nyúlásmérő bélyeg pozíciója a motortartó bakon egy kritikus hegesztett varrat közelében



28. ábra – Nyúlásmérő bélyeg pozíciója a kompozit főtartó bekötési pontja felett, a legnagyobb nyíróerő eloszlás részen

Alkalmazott rövidítések és idegenszavak jelentései

¹ CAE: Computer Aided Engineering, számítógéppel segített mérnöki tevékenység

² UL: Ultra Light Aircraft, ultrakönnnyű repülőgép, aminek a maximális felszálló tömege 472,5 kg

³ LSA: Light Sport Aircraft, könnyű sport repülőgép, aminek a maximális felszálló tömege 600 kg

⁴ VLA: Very Light Aircraft, könnyű repülőgép, aminek a maximális felszálló tömege 750 kg

⁵ CAD: Computer Aided Desig, számítógéppel segített tervezés

⁶ FEA: Finite Element Analyses, végeelem analízis

⁷ CAM: Computer Aided Manufacturing, számítógéppel segített megmunkálás

⁸ Hibrid tervezés: a tervezés olyan szakasza, mikor már egy szerelési, összeállítási környezetben hoznak létre új alkatrészt, nem pedig önálló elemként kerül az lemodellezésre

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Michael C. Y. Niu: Airframe Structural Design Lockheed Aeronautical Systems, Company Burbank, California USA 1990. ISBN No. 962-7128-04-X
- [2] S. R. Reid and G. Zhou: Impact Behavior of Fibre-Reinforced Composite Materials and Structures Cambridge, England 2000. ISBN 1 85573 423 0
- [3] Corvus Aircraft Kft belső dokumentációs rendszer, típuskézikönyvek

Abstract

This article is concentrating to the developing procedures of CORVUS RACER 540 AIR RACE TYPE AIRCRAFT. This plane is designed and manufactured by full CAE applications according some recommendations by the famous Hungarian Red Bull Air Race pilot Péter Besenyei. Summarizing the personal experiences of the authors, both of whom designed, analyzed and controlled manufacturing processes together with any Hungarian universities and external companies. Find many interesting information about CAD/CAM/FEA technologies in the design procedures.