



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS
GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM**
Repüléstudományi és Hajózási Tanszék

**Repülőgépek tervezése, gyártása II
és**

Repülőgépek tervezési lépései és gyártása

Évfolyamterv leírás

Készítette: dr Szirocák Dávid szirocak.david@kjk.bme.hu

Repülőgépek Tervezése, Gyártása II. Évfolyamterv projekt kiírás

2022/23 tanév, őszi félév

KIZÁRÓLAG SAJÁT HASZNÁLATRA, ENGEDÉLY NÉLKÜLI PUBLIKÁCIÓ NEM ENGEDETT



1. Tartalomjegyzék

1.	Tartalomjegyzék.....	2
2.	Bevezetés.....	3
3.	Megrendelői igények.....	4
3.1.	Repülőgépek tervezése, gyártása II.....	4
3.2.	Repülőgépek tervezési lépései és gyártása.....	4
4.	Koncepció tervvel szemben támasztott követelmények.....	5
5.	Javasolt és rendelkezésre álló módszerek.....	6
6.	Első lépések.....	8

Verzió	Dátum	Rövid leírás
V1	2022.09.27.	Első kiadás



2.Bevezetés

Ez a dokumentum a Repülőgépek Tervezése, Gyártása II. tantárgy évfolyamtervének leírása. Az évfolyamterv feladata megadott igények alapján repülőgép koncepció szintű tervének létrehozása.

A **Repülőgépek tervezése, gyártása II** tantárgy keretén belül egy tiszta lappal induló új koncepció megtervezése szükséges, a megrendelői igényekben ismertetett követelmények alapján.

A **Repülőgépek tervezési lépései és gyártása** tantárgy esetén szintén tiszta lappal induló koncepció, egyszerűsített feltételekkel.

FIGYELEM: Az évfolyamterv beadására 14 hét áll rendelkezésre, így mindenki a rendelkezésre álló idő mennyiségnek, saját tudásának, tapasztalatainak, képességeinek, érdeklődésének és ambíciójának megfelelően tervezzen feladatokat, illetve válasszon eszközöket! Jól megvalósított és befejezett egyszerűbb megoldás többet ér, mint komplexebb, de elnagyolt vagy be nem fejezett munka!

Az évfolyamterv teljesítéséhez az elkészült tervet dokumentálni kell és a félév végén benyújtani, nyomtatott és elektronikus formátumban is, illetve megvédeni. Szintén feltétel a létrehozott elektronikus dokumentáció, CAD modellek, rajzok, valamint az elkészítéshez használt táblázatok, programok és egyéb kísérő dokumentáció elektronikus benyújtása!



3. Megrendelői igények

A tervezési feladat célja egy nagy hatótávolságú pilótanélküli repülőeszköz (drón) tervezése. A fő követelmények, mind a két tantárgy keretén belül az alábbiak:

- Csúcsmagasság: minimum 3000m
- Hasznos teher: 10 kg
- Hatótáv: 2000 km (+tartalék)
- Utazó sebesség: minimum 150 km/h
- 3 éven belül piacra jutás (technológia választás!)
- Megfizethető technológia
- BVLOS működés
- CS-VLA és SC-Light UAS is használható szertifikációs alapnak

3.1. Repülőgépek tervezése, gyártása II

Az alábbi hajtómű típusokból lehet választani:

- Soros hibrid-elektromos kialakítás légcsavarral
- Hidrogén tüzelésű hajtómű + légcsavar: FJDDV6
- Tüzelőanyag cella (fuel cell) + elektromos motor + légcsavar: EMPESB

3.2. Repülőgépek tervezési lépései és gyártása

A hajtómű típus dugattyús motor + légcsavar kell legyen.

2 féle indítási és leszállási megoldással kell megtervezni a repülőgépeket:

- Fix vagy behúzható futóművel fel- és leszállás: O9LN3V
- Katapult indítás és hasraszállás vagy ejtőernyő: LEGEV8

A definiált igények a megrendelő számára fontos jellemzői a repülőgépnek, amelyek biztosítják a piaci előnyt és/vagy versenyképességet, illetőleg technológiai, logisztikai, gazdasági vagy egyéb kényszerek miatt definiáltak. Ennek eredményeképpen az előírt igényektől eltérni nem szabad a koncepció terv kidolgozása során. Amennyiben valamely igények látszólag lehetetlenné teszik a feladat megoldását, javasolt a tantárgyfelelős oktatóval konzultálni.



4. Konceptió tervvel szemben támasztott követelmények

Az évfolyamterv célja a megadott megrendelői és egyéb légiforgalmi és légiakalmassági igényeknek megfelelő repülőgép koncepció terv készítése. A megfelelőséget az alábbi 9 terület érintésével kell minimum bizonyítani. A repülőgépnek teljesíteni kell az igényeket, de nem kell a „legjobb” lennie, tehát optimalizálni nem kell a tervet (természetesen lehet).

- Geometria: repülőgép fő méreteinek definiálása, 3D model és 3 nézeti rajz készítése
 - Általános jellemzők: komponensek helye, fesztvátság, nettó szárnyfelület, közepes aerodinamikai húr, legnagyobb keresztmetszet, nedvesített felület, teljes befoglalt térfogat
 - Szárny, vezérsíkok: alak (fesztvátság, karcsúság, húrhosszak, nyílazás, trapéz viszony, elcsavarás, V-be állítás vetület, felület), profilok, kormányfelületek nagysága
 - Törzs: hossz, keresztmetszetek, befoglalt térfogat, kabin méret, kabin térfogat, csomagter tér fogat, nedvesített felület
 - Hajtómű: pozíciók, gondola átmérő, hossz, propeller átmérő
 - Futóművek helyzete
- Hajtómű: hajtóművek darabszáma, típusa, energiaforrás, hajtómű tolóerő/teljesítmény és hatásfok görbéi (Mach-T(P) és Mach-T(P)SFC görbék lehetőség szerint)
- Küldetés: tipikus repült feladat, szakaszokkal (taxi, felszállás, emelkedés stb.), idő és távolság definiálása
- Tömeg felbontás: maximum felszálló tömeg definiálása és az alapján a repülőgép részegységek tömegeinek meghatározása, statisztikai vagy más alapon, majd ebből repülőgép különböző konfigurációinak tömeg érték megadása (MTOM, ZFM, OEM)
- Aerodinamika: minimum utazó üzemmódról repülőgép poláris számítás, ezen felül szárnymechanizációk (pl. ívelőlap) hatása a fel/leszállásra ajánlott, ha vannak a repülőgépen
- Hajtás/energiafelhasználás: milyen logika szerint működik a hajtás, rendelkezésre álló tolóerő/teljesítmény ellenőrzése, különösen fontos hibrid/elektromos gépeknél
- Csomagolás és súlypont: a repülőgép különböző komponenseinek elhelyezése, pozíciók, térfogatok, alakok ellenőrzése. Gyakorlatilag beleférnek-e a definiált geometriába a komponensek. Súlypont pozíció becslés a komponensek pozíciója és tömege alapján
- Teljesítmény számítás: fel- és leszállási úthosszak, hatótávolság, max repülési idő, nevezetes sebességek, emelkedés, siklópoláris számítás, Penault diagram. A teljesítmény számítás eredményeit össze kell vetni a kritériumokkal! Például elegendő hatótáv, vagy a repülőgép osztályhoz megfelelő reptereken fel- és leszállási úthosszak limitje!
- Stabilitás: a becsült súlypont és aerodinamikai tulajdonságok alapján minimum statikus hosszstabilitás becslése

A definiált minimum követelményeken felül, az alábbi területek vizsgálhatók meg a rendelkezésre álló idő és érdeklődési kör szerint:

- Egyéb vizsgálható modulok:
 - Stabilitás bővítése oldalstabilitás
 - Dinamikus stabilitás
 - Irányíthatóság
 - Avionikai rendszerek meghatározása, méretezése

- Kabin és pilótafülke elrendezés, ergonómia
- Rendszerek méretezése, energiafogyasztása
- Környezeti zaj, károsanyag kibocsájtás
- Szertifikációs ellenőrzés
- Megbízhatóság, karbantarthatóság, gyárthatóság
- Működtetési, illetve teljes élettartam költség
- Koncepció terv optimalizálása
- Koncepció terv érzékenység vizsgálata
- Termék család terveinek vizsgálata

5. Javasolt és rendelkezésre álló módszerek

A repülőgép tervezési segédletként több forrás áll rendelkezésre. Az évfolyamterv elkészítéséhez szabadon választható a felhasznált módszertan, azonban a módszereket nem érdemes keverni. Az ismertebb repülőgép tervezési módszertanok az alábbiak:


- Javasoltak:
 - Howe D. Aircraft conceptual design synthesis. London; Professional Engineering Publishing, 2000.
 - Raymer DP. Aircraft design: A conceptual approach. 4th ed. Reston, VA American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006.
 - Roskam J. Airplane design. 2nd ed. Lawrence, KS DARcorporation, 2003.
- Szintén ismert és használható:
 - Torenbeek E. Synthesis of subsonic airplane design. Delft, Netherlands: Delft University Press, 1976
 - Stinton D. The design of the aeroplane. 2nd ed. Hoboken, NJ: Blackwell Publishing, 2001.
 - Corke TC. Design of aircraft. 1st ed. London: Pearson, 2002.

A repülőgép koncepció tervek elkészítéséhez számításokra és különböző segéd módszerekre lesz szükség. Az alábbi lehetőségek ajánlottak, de más megoldás is elfogadott, érdemes figyelembe venni a hozzáfűzött kommenteket.

- Általános célra:
 - Microsoft Excel: legismertebb, könnyű átlátni mi történik és ellenőrizni, VBA programozható, integrált Solver. Komplexebb függvények, illetve külső programok írása/hívása bonyolult.
 - Matlab: szintén ismert, programozható, igényes ábrák készíthetők, külső programok is könnyen hívhatók vele. Talán egy kicsit nehezebb átlátni a numerikus eredményeket mint pl Excelben.
 - Python: modern műszaki világban egyre elterjedtebb a használata, rengeteg szabadon elérhető és jól dokumentált bővítmény van hozzá. Programozni kell tudni hozzá, szintén kevésbé egyszerű az adat ellenőrzés mint pl excelben. Használható a SUAVE nevű repülő tervező csomag vagy a tanzéki (erősen WIP) géptervező kód .
- Légköri paraméterek: US Standard Atmosphere 1976 alapján
- Geometria definíció:
 - Szabadkézi rajz: igény szerint, valószínűleg nagyon sok újrarajzolás lesz, néhány művelet lehet egyszerűbb kézzel



- Táblázat alapú: legegyszerűbb, de kevésbé látványos/átlátható, de valamilyen formában biztosan szükség lesz rá pl. ekvivalens szárny alakot számolni
- OpenVSP: légijármű rajzoló, szabadon elérhető kód (NASA)
- Tanszéki megoldás (Python) erőteljesen WIP, de geometria definiálható és kirajzolható
- Hajtómű definíció lehetséges megközelítések:
 - Létező hajtómű és specifikációjának megszerzése
 - Tervező segédletek alapján javasolt értékek felvétele, illetve „rubber scaling”
 - Hajtómű szimulációs szoftver megoldások (open modelica, simulink, stb)
 - Tudományos folyóiratok, cikkek, diplomamunkák átnézése
- Küldetés definíció:
 - Repülésmechanikából vagy üzemeltetésen tanultak, illetve hasonló osztályú repülőgépek üzemeltetése alapján
- Tömeg felbontás:
 - Javasolt a tervezési módszertanokban található statisztikai alapú tömegbecslő egyenletek használata, ahol csak lehet. Nagyon fontos tudni, hogy az egyenletek csak a definiált tartományokon belül érvényesek!
 - Ahol nincs statisztikai alapú, vagy nem érvényes ott megfelelő egyéb módszer pl. cikkekből, diplomamunkákból vagy megfelelő egyszerű kézi méretezés alapján kell végezni
 - A tömeg felbontás (és sok más egyéb) szinte minden esetben iterációt von maga után, ezért már az elején fel kell rá készülni.
 - A tömeg felbontásnak elfogadásának elengedhetetlen része, hogy a részegységek tömege egyezzen a teljes tömeggel (megfelelő toleranciával)!
- Aerodinamika becslés javasolt módszerek. Fontos megjegyezni, hogy a módszer választásnál a rendelkezésre álló időt nem szabad figyelmen kívül hagyni. Ezért például 3D N-S CFD és egyéb hasonlóan időigényes módszer használata kerülendő.
 - Papír alapú (emlékeztető: sok iteráció lesz, ezt bele kell tervezni):
 - Tanszéki módszer
 - Tervezési módszertanokban ajánlott
 - USAF DatCom
 - Elektronikus:
 - Papír alapú módszer lekódolása
 - Digital Datcom
 - AVL, XFLR5 vagy hasonló vortex-lattice
 - Panel módszerek
 - SUAVE vagy OpenVSP beépített módszerek
- Hajtás/Energiafelhasználás
 - Itt alapvetően logikát kell meghatározni, hogy a definiált hajtóműveket hogyan célszerű használni, illetve tudják-e a megfelelő repülési helyzetben szolgáltatni a megfelelő tolóerőt/teljesítményt. Ezt leginkább a teljesítmény becslés modulon keresztül lehet ellenőrizni.
 - Hybrid/elektromos hajtásnál lehetőség van választani, hogy milyen sorrendben/arányban használjuk az akkumulátort/más áramforrást és a hőerőgépet.
- Csomagolás és CG
 - A csomagoláshoz érdemes meghatározni a nagyobb komponenseket és a sorrendjüket/egymáshoz képesti pozíciójukat definiálni

- 
- Lehet abból kiindulni, hogy előre definiáljuk a nagyobb komponens méreteket pl utaskabin, csomagtér, futómű, tüzelőanyag/akkumulátor és az alapján definiáljuk a törzs/szárny méretét. Így a csomagolás gyakorlatilag garantált.
 - Lehet ellenőrizni, hogy a megfelelő komponensek elférnek-e a sárkányban, illetve mennyire lógnak ki
 - Súlypontot a komponensek ismert pozíciója és becsült saját súlypontja alapján táblázatos formában egyszerűen lehet számítani. Nem szabad megfeledezni a különböző konfigurációkról, így több súlypont érték lesz természetesen
 - Teljesítmény becslés:
 - Repülésmechanika tárgyban tanultak alapján viszonylag egyszerűen elvégezhető
 - Ha a tervezési módszertan más hasonló módszert ajánl, az is alkalmazható
 - Stabilitás becslés:
 - Súlypont és aerodinamikai jellemzőkből számítható, a már tanult módszerek alapján

6. Első lépések

Az évfolyamterv sikeres elkészítéséhez az alábbi kezdeti lépések javasoltak:

1. A kiadott feladat technológiai elemzése, a nem ismert fogalmak, technológiák legalább összefoglaló szintű megértése
2. A játékmező megismerése: erősen ajánlott hasonló kategóriás repülőgépek listájának összegyűjtése és megismerése. Amik ma repülnek és eladhatók, azok kielégítik a velük szemben támasztott igényeket, így a hasonló repülőgépek jó kiindulási alapot nyújtanak.
3. Tolóerő/Teljesítmény előzetes becslés alapján hajtómű lehetőségek megvizsgálása. Például ilyen méretben 1 vagy 2 (esetleg több) hajtómű a szokásos, dugattyús motor vagy gázturbina, van-e hasonló méretű villanymotor megoldás? Szintén érdemes listába gyűjteni fő jellemzőkkel.
4. A tervezési módszertanokkal való ismerkedés, legalább olyan szinten, hogy lehessen tudni milyen problémára van megoldás és mire kell esetleg saját módszert találni
5. A szükséges technológiák, hasonló járművek mérete és felépítése, valamint az elérhető/szokásos hajtóművek alapján a megfelelő tervezési eszközök és módszerek listájának begyűjtése és kiválasztása