

Budapest Science Meetup

Miként lesznek környezetbarátabbak a jövő utasszállító repülőgépei?

Vanek Bálint

Repülésirányítási és Navigációs

Kutatócsoport

Rendszer és Irányításelméleti

Kutatólaboratórium

SZTAKI



The research leading to these results is part of the EU project FLIPASED (grant agreement No. 815058).

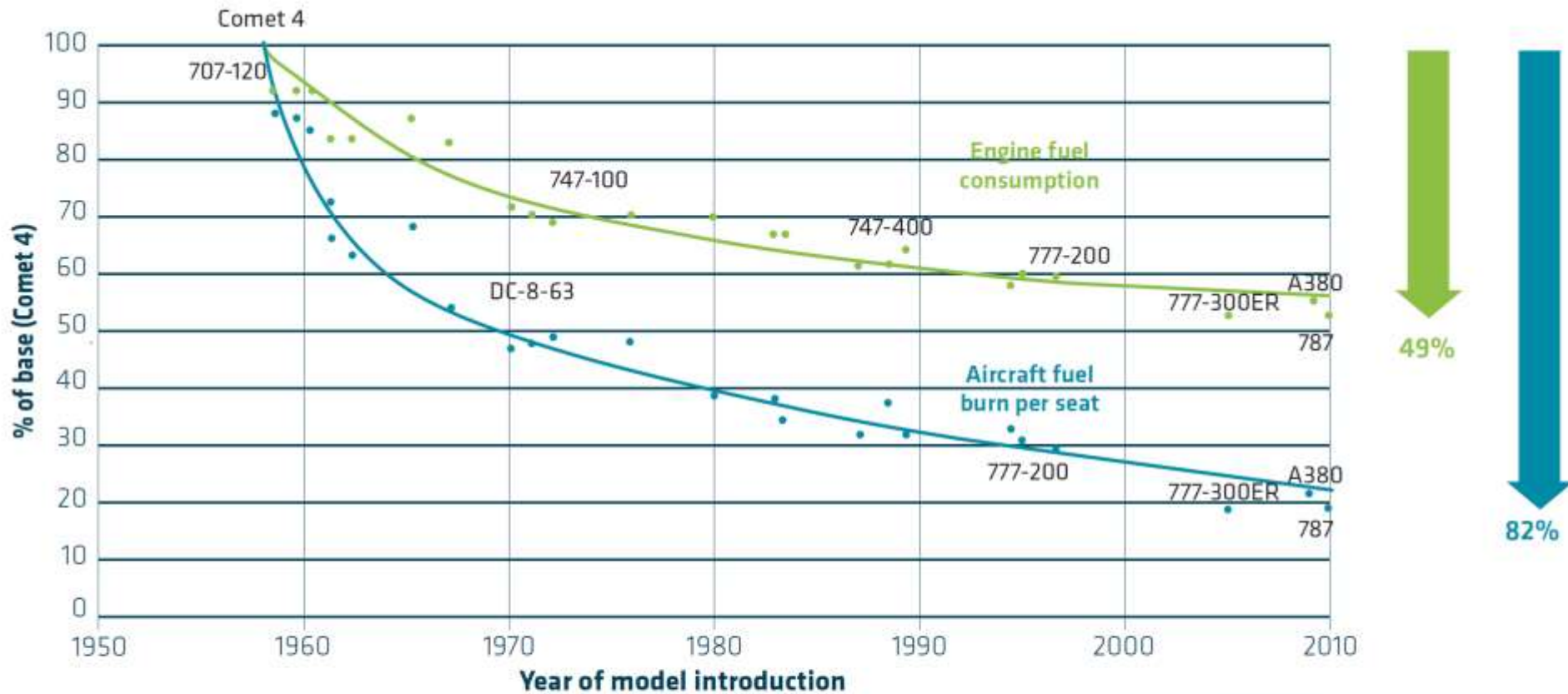
Budapest Science Meetup, Vanek B., 2021.05.13.

A SZTAKI erős – és jellemzően célzott – alapkutatási tevékenységre támaszkodva, széleskörű hazai és nemzetközi együttműködések keretében hoz létre új eredményeket, és támogatja azok alkalmazását a gazdaság és a társadalom fenntartható fejlődésének érdekében, ugyanakkor működési területén segít megőrizni és lehetőség szerint magasabb szintre emelni a hazai tudományos-műszaki kultúrát.

Repülőipari kutatási partnerek:



Az elmúlt 60 év fejlődése

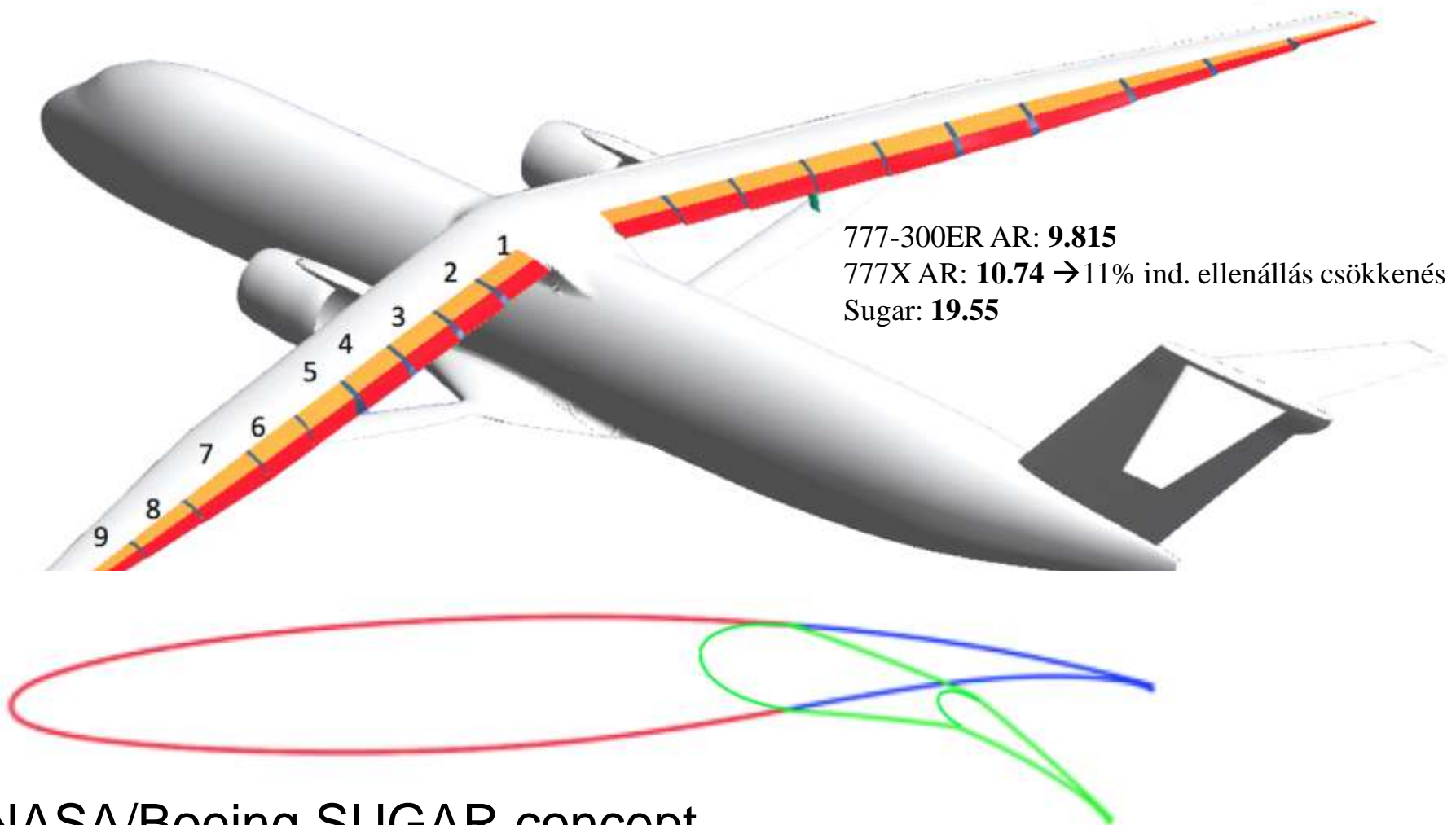


Repülőipari trendek SUGAR TBW



NASA/Boeing SUGAR concept

Repülőipari trendek SUGAR TBW



NASA/Boeing SUGAR concept



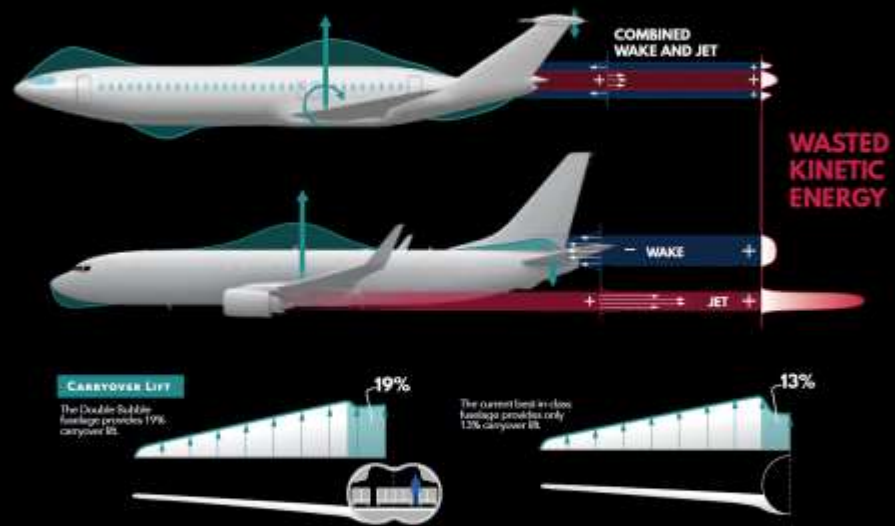
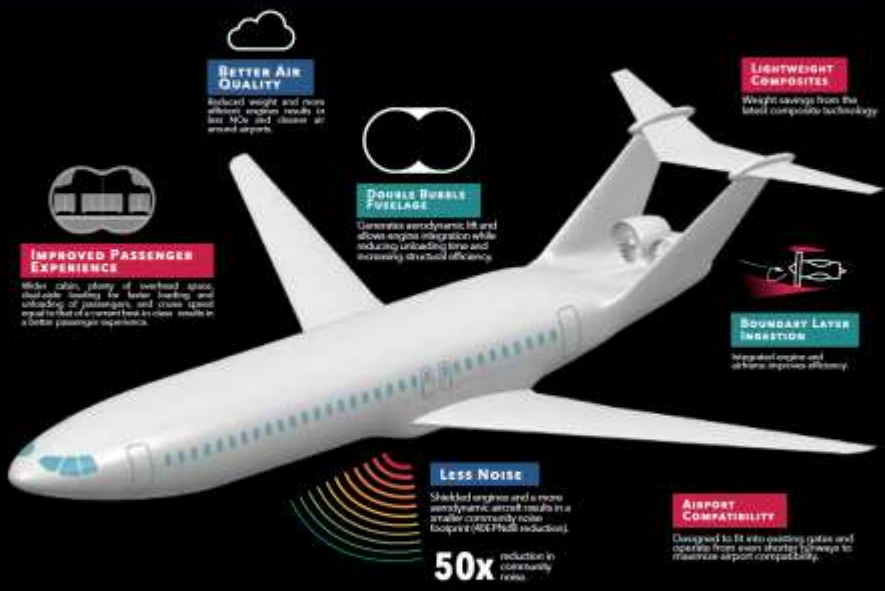
Repülőipari trendek D8

FROM THE JET AGE TO THE EFFICIENCY AGE

The D8 aircraft will usher in a new era of efficiency and affordability in commercial air travel

By 2027 entry into service, the D8 will be **50% more efficient** than current best-in-class aircraft.

If adopted worldwide, it would yield a **25% GLOBAL REDUCTION** in total fuel consumption.



A TALE OF TWO FLIGHTS >

LAX TO JFK >

AURORA D8 vs. CURRENT AIRCRAFT

FASTER LOADING

The twin-aisle double bubble fairings is revolutionary for markets typically served by single-aisle airplanes like the current best-in-class. Faster loading and unloading means quicker, more efficient turn-around times for airlines and a better travel experience for passengers.

TAKEOFF

The D8 has a reduced takeoff length and can operate from more airports than the current best-in-class. During takeoff, the D8's shielded engines and efficient design mean less noise impacts on nearby communities.

MACH 0.8 SPEED

While slowing down has the potential to save us money, the D8 is designed to fly the same transonic speeds as the current best-in-class. When combined with shorter times at the gate, passengers can have more time efficient door-to-door trips.



ARRIVAL

Low noise means more direct approaches can be flown with less impact on surrounding communities. Quicker unloading means passengers can exit the plane faster than on a current best-in-class aircraft and the airline can turn the airplane around for even greater utilization.

Los Angeles, CA

New York, NY
2,435 MILES

Repülőipari trendek Flying-V



TU Delft / KLM Flying-V – 20%-al gazdaságosabb mint az a350



DLR elektromos, elosztott propulziós repülőgép



DLR hidrogén / elektromos hibrid repülőgép



Airbus ZEROe – hidrogén meghajtású repülőgépek (2035)

Repülőipari trendek



A large Airbus ZEROe aircraft is shown in flight against a blue sky with clouds. The aircraft features a green and blue livery with the text "AIRBUS ZEROe" and "H2 energy" on its fuselage. The tail section is a large, curved, delta-shaped structure.

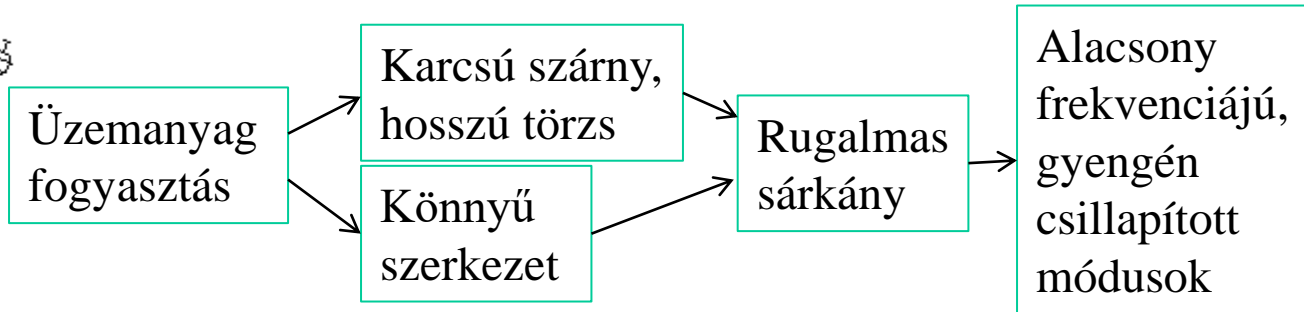
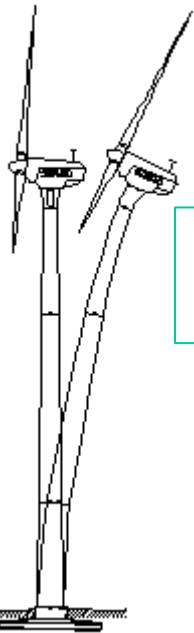
Configuration	Passengers	Range	Engines	Hydrogen System
Turboprop	<100	1,000+nm	Hydrogen Hybrid Turboprop Engines (x 2)	Liquid Hydrogen Storage & Distribution System
Blended-Wing Body	<200	2,000+nm	Hydrogen Hybrid Turbofan Engines (x 2)	Liquid Hydrogen Storage & Distribution System
Turbofan	<200	2,000+nm	Hydrogen Hybrid Turbofan Engines (x 2)	Liquid Hydrogen Storage & Distribution System

AIRBUS

© AIRBUS 2020 - All rights reserved - IIVS

Flexibilis Módusok Aktív Szabályozása

- Modern légi járműveknek (többek között!) törekednie kell:
 - Az üzemanyag fogyasztás minimalizálására
 - A fedélzeti utasok "komfortjának" biztosítására



követelmény

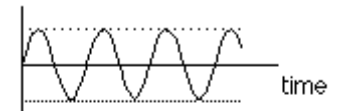
tervezés

következmény

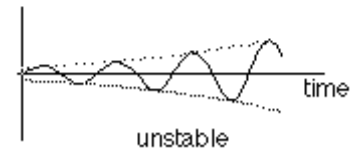
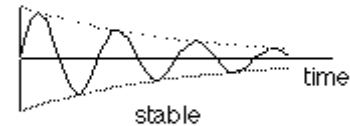
végeredmény

- A strukturális és hatékonysági követelmények kompromisszuma biztonságos és jó repülési tulajdonságú gépeket kell tervezni

Vibration of the windturbine without aerodynamic effects:



with aerodynamic effects:



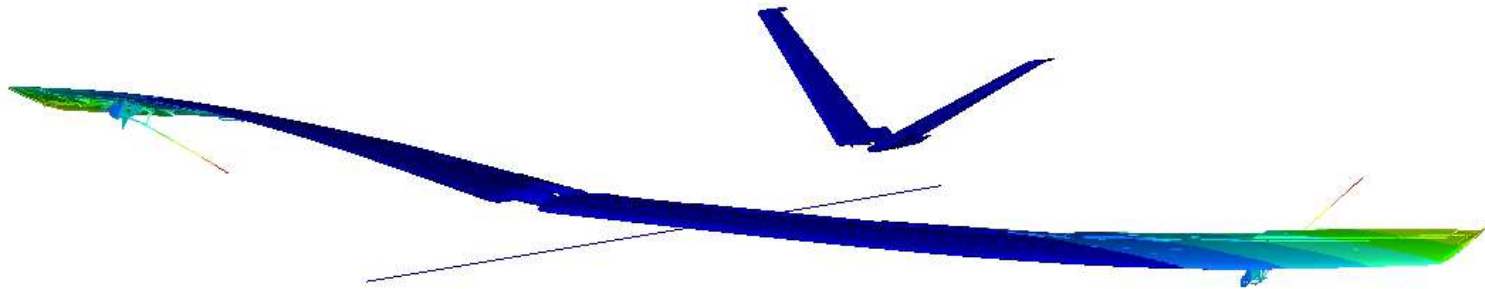
REPÜLŐGÉP TERVEZÉS:

Abszolút alapkövetelmény a *megfelelően* szilárd sárkányszerkezet

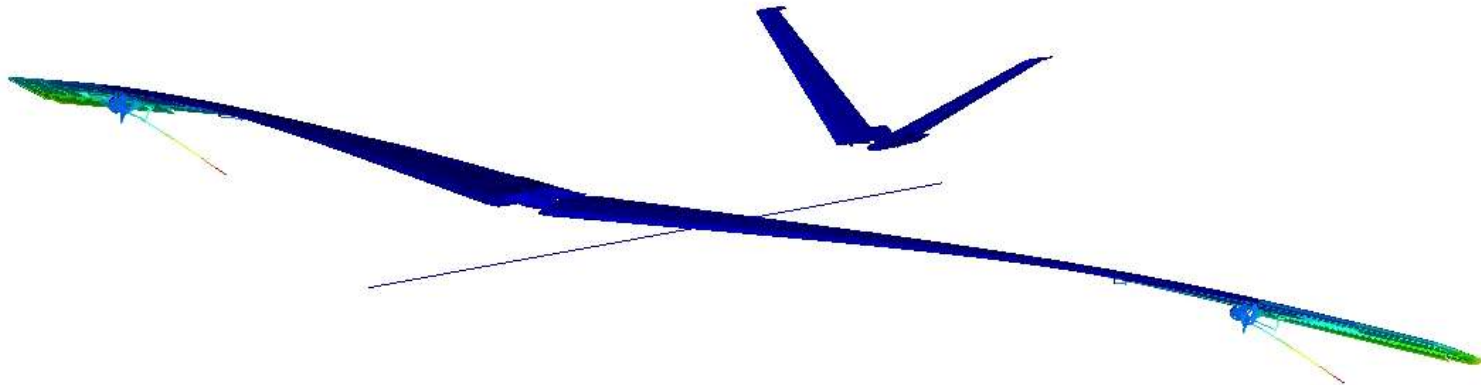
Lehetőség van a strukturális vibrációk enyhítésére *további* módszerekkel

FLEXOP Demonstrátor Flatter Módusok

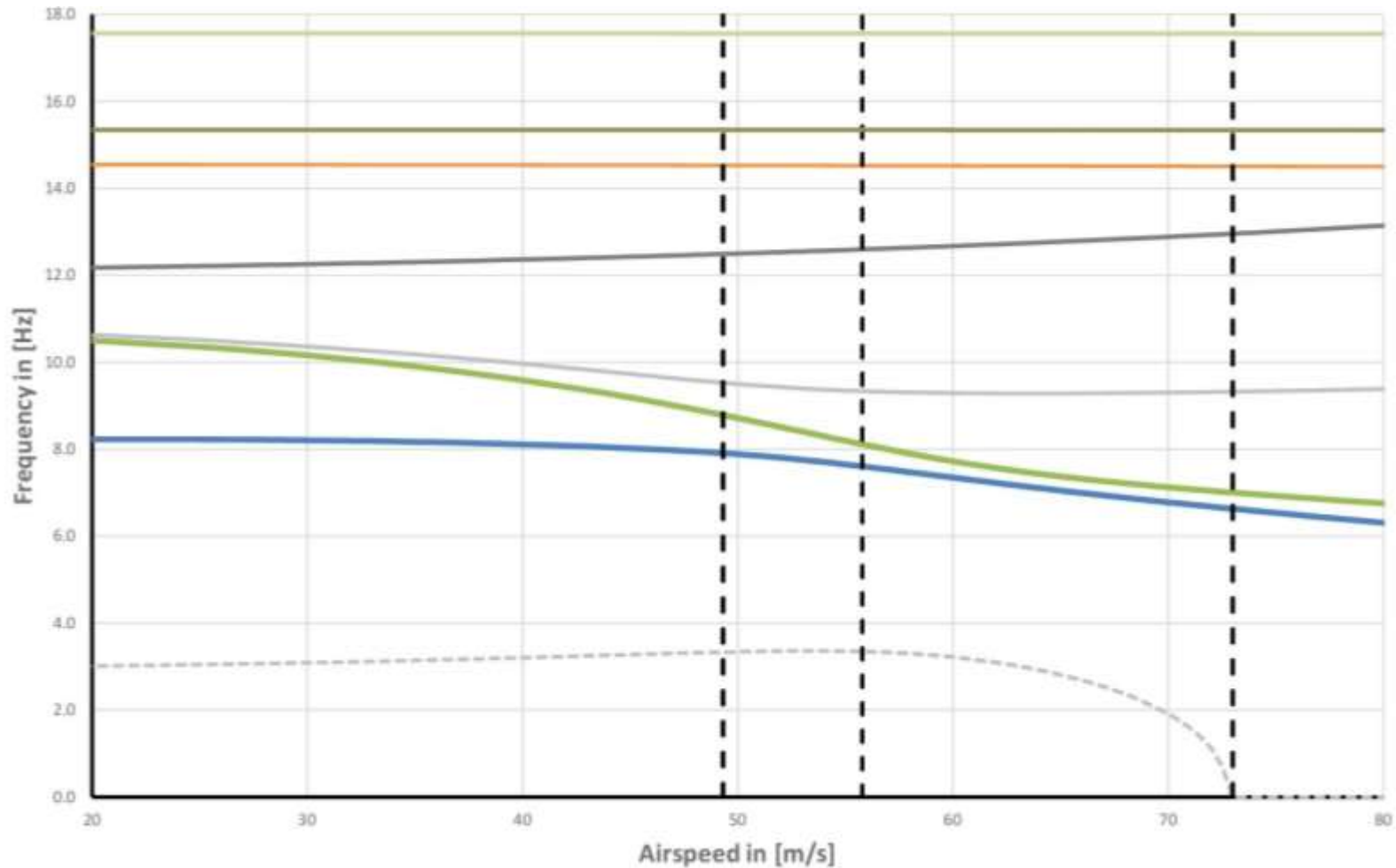
Instabil Módus 1: 55.8 m/s 7.6 Hz



Instabil Módus 2: 49.3 m/s 8.8 Hz

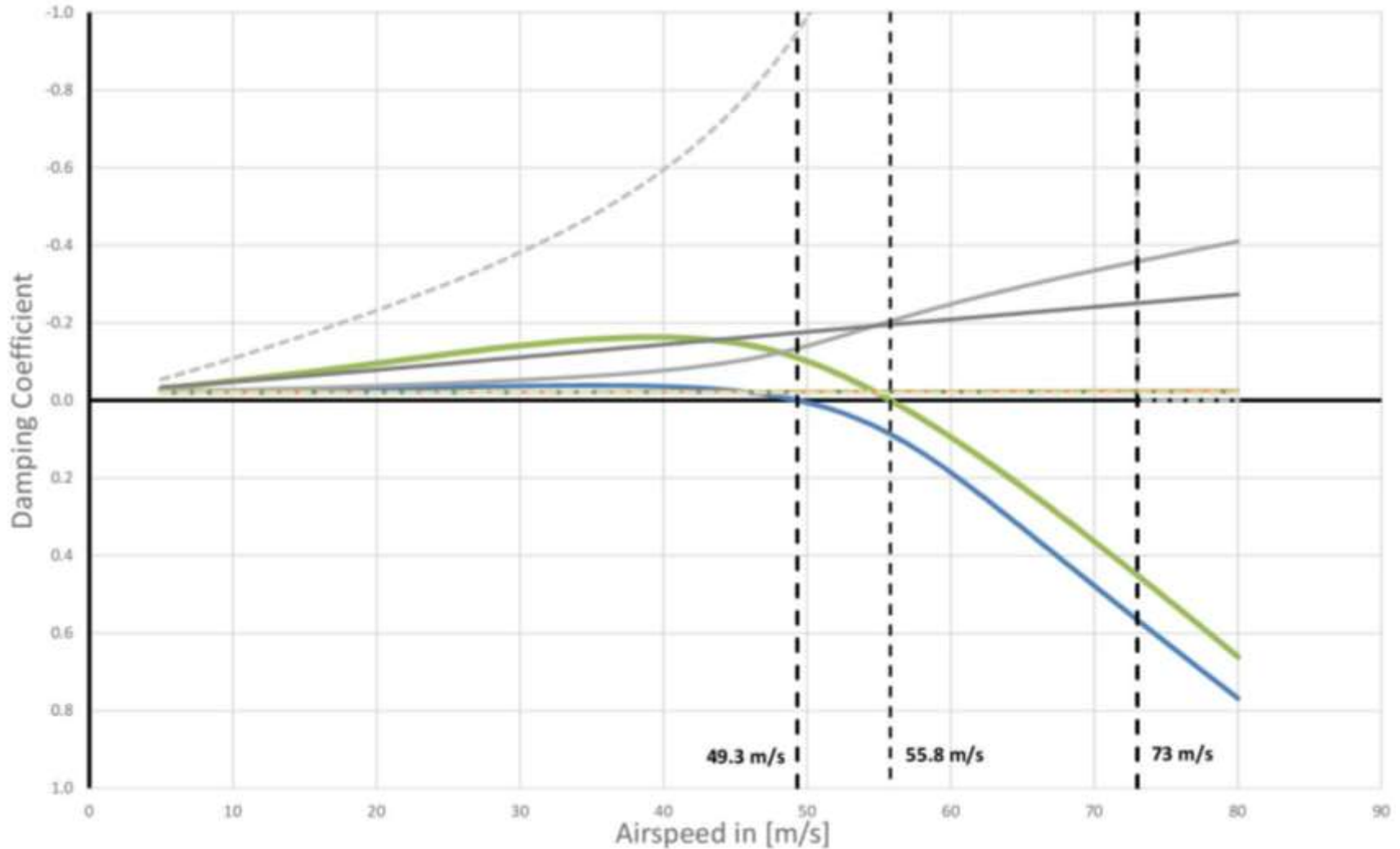


Módusok Frekvenciája



A sebesség függvényében változnak a frekvenciák

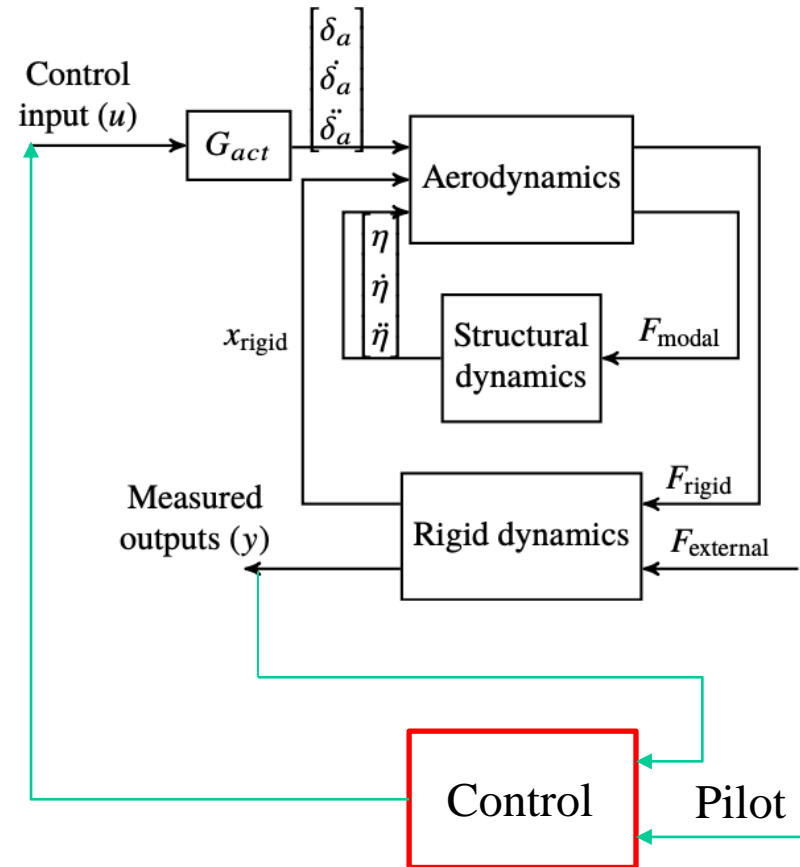
Módusok Csillapítása



A sebesség függvényében erősen változnak a csillapítások

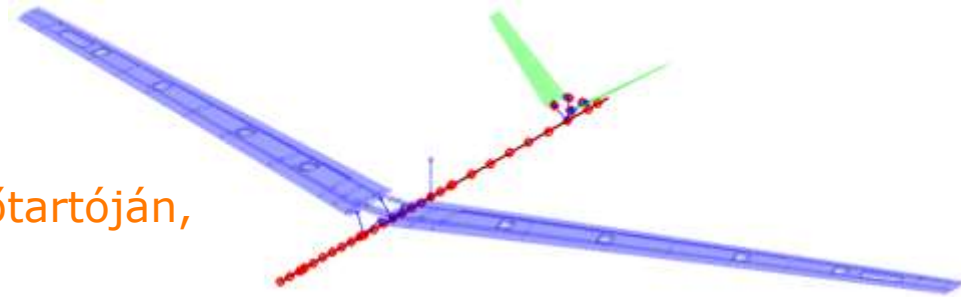
(Repülőgép) Aeroelasztikus modellezés

- Alrendszer alapú felépítés
 - Merevtest mozgás 6 szabadságfok
 - Strukturális dinamika néhány ezer szabadságfok
 - Aerodinamika néhány száz → néhány millió szabadságfok
 - Irányítás néhány ezer sor kód
 - Irányítást biztosító „redundancia management” több ezer sor kód

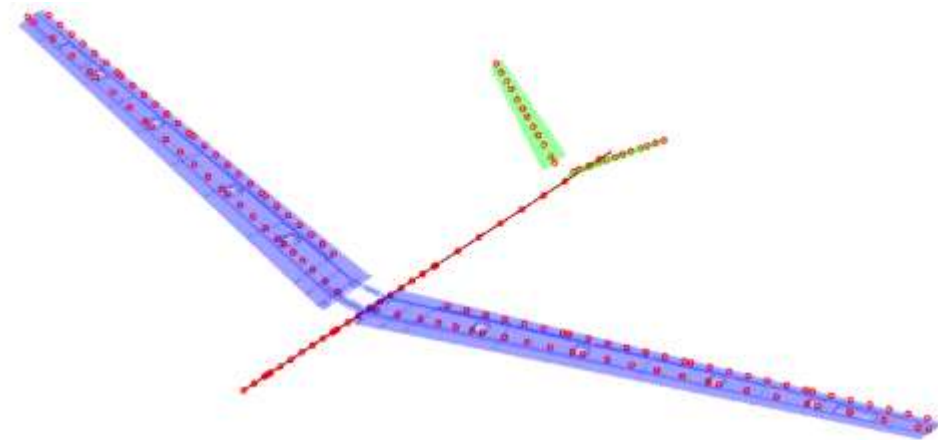
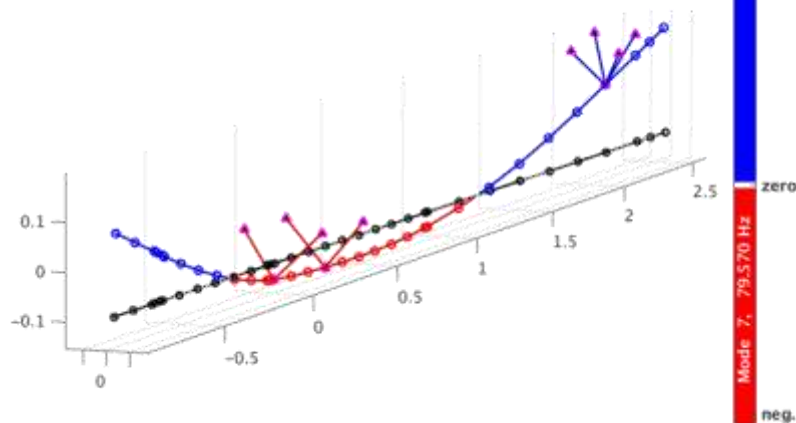


Szerkezet Modellezése

- FLEXOP projekt demonstrátora
 - 33 tömegpont a törzsön, 24 a farokfelületen, 52-52 a szárny főtartóján, 7 flap-enként
- Már itt figyelembe kell venni, hogy az alacsony frekvenciás módusokat 1-2 % míg a magasabbakat 8-10%-os pontossággal ismerjük
- Későbbi kalibráció GVT alapján



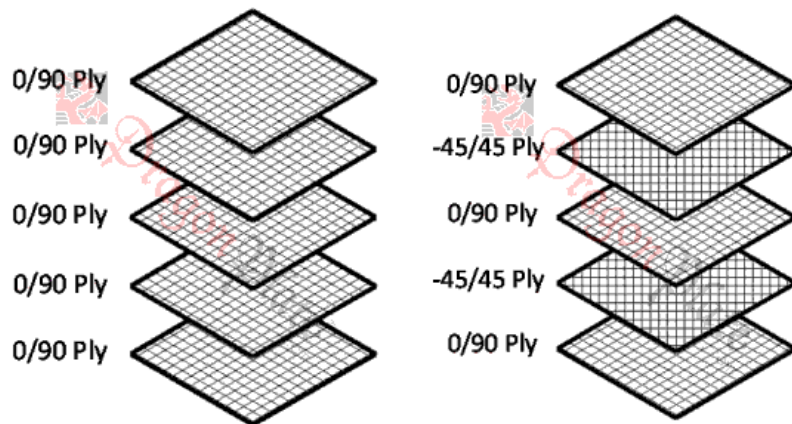
Full FE Model of the FLEXOP Aircraft



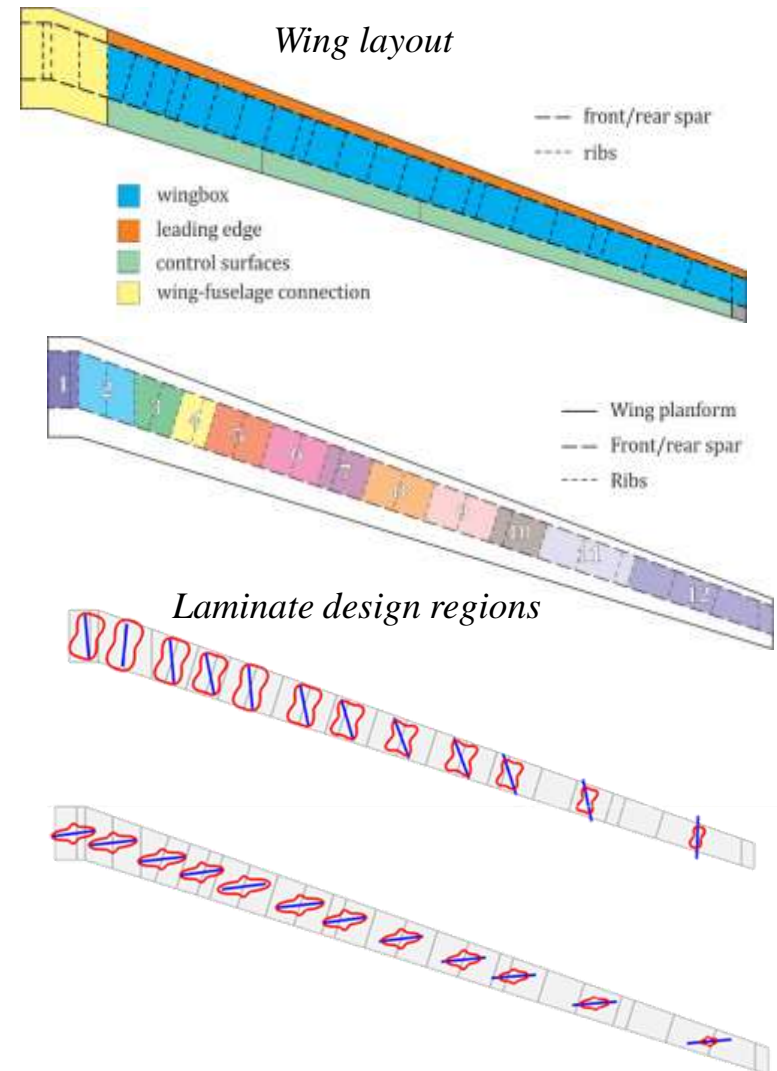
Condensed FE Model Nodes

Szerkezet tervezés szabad paramétere

- Hagyományos alumínium
- Hagyományos „karbon”
 - Szimmetrikus, balanszolt rétegek
- Optimalizált szilárdság eloszlás a FLEXOP -2 szárnyban
 - Nem-Szimmetrikus, balanszolt
 - Aggresszív „Aero-Elastic Tailoring”
 - A világon első repülő „aeroelastic tailoring technológiával a terhelés csökkentésére” → 8% üzemanyag megtakarítás

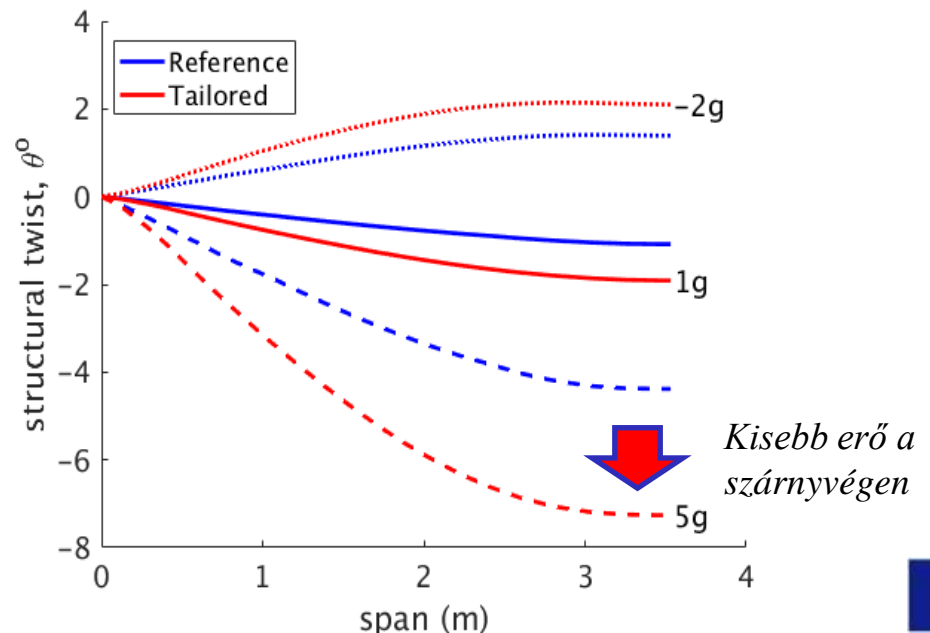
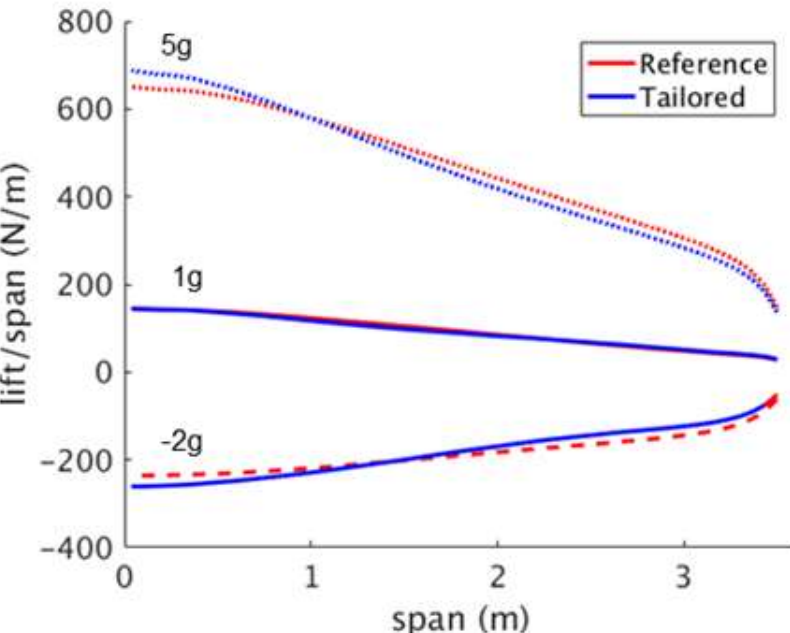
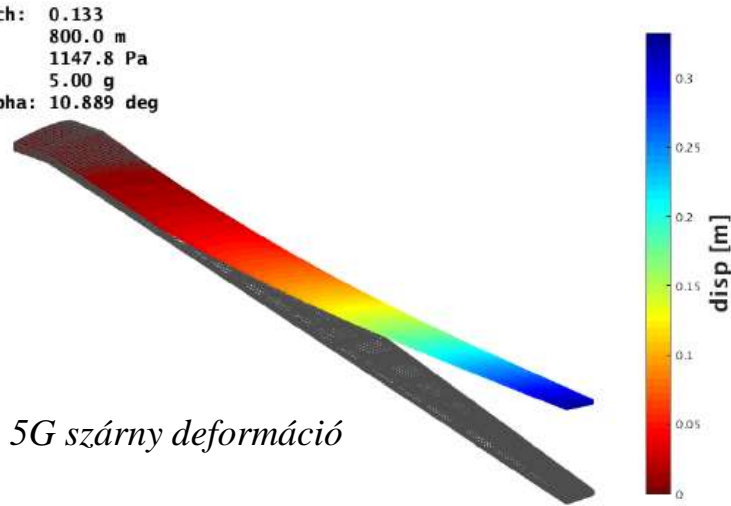


Szimmetrikus, balanszolt laminátum – kvázi izotróp

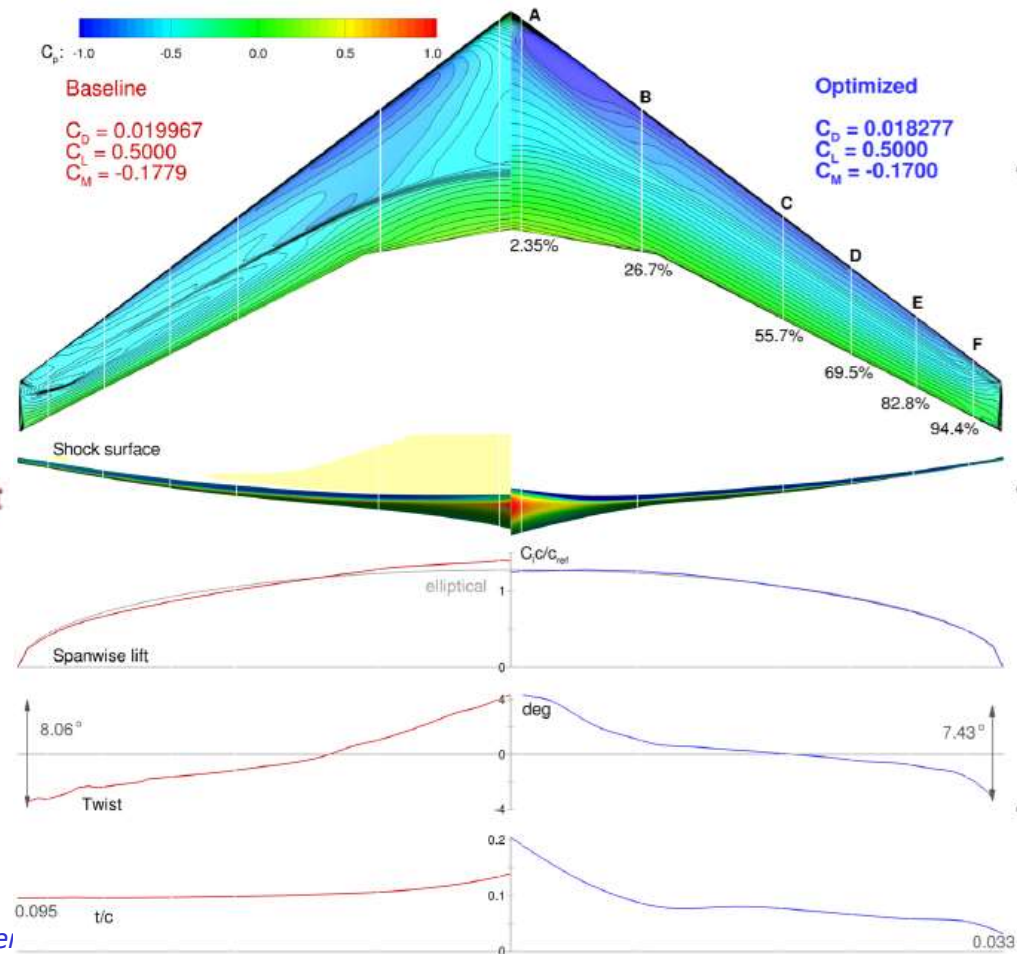


Szárny deformáció

- A350-900: felszállás – 280 t, üzemanyag 115 t → 30 %-al alacsonyabb felhajtóerő a repülés végén mint elején
- 1 nominális szárny alak „flight shape” – amire a gépet / szárnyat optimalizálják
- Tanúsítás pld. +5G, -2.5G

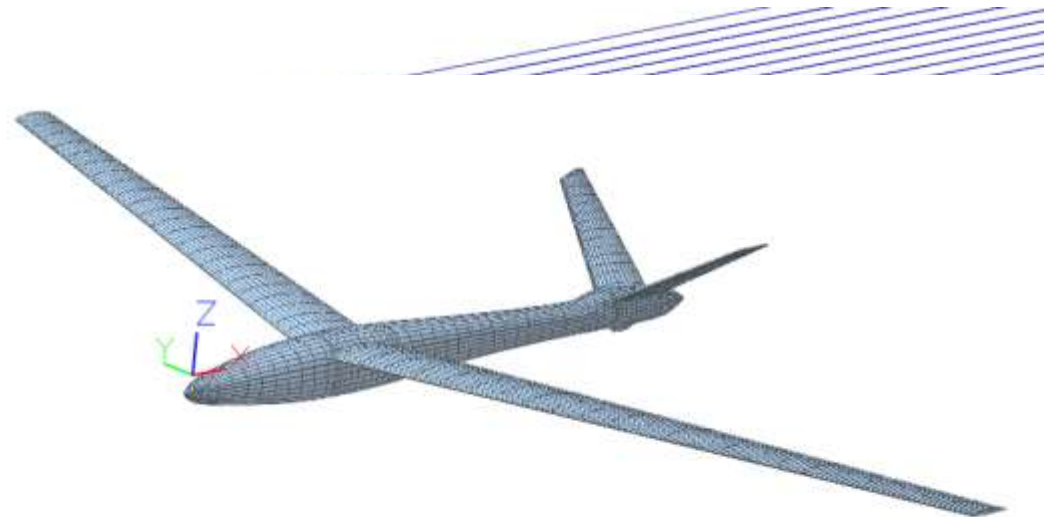


- Szárny paraméteres felírása sokszáz szabad paraméterrel
- Numerikus áramlásmodellezés (CFD) jelentősen gyorsult
- Optimalizálás robosztus
- Egy jó tervet is jobbá lehet tenni (8.5 % javulás)

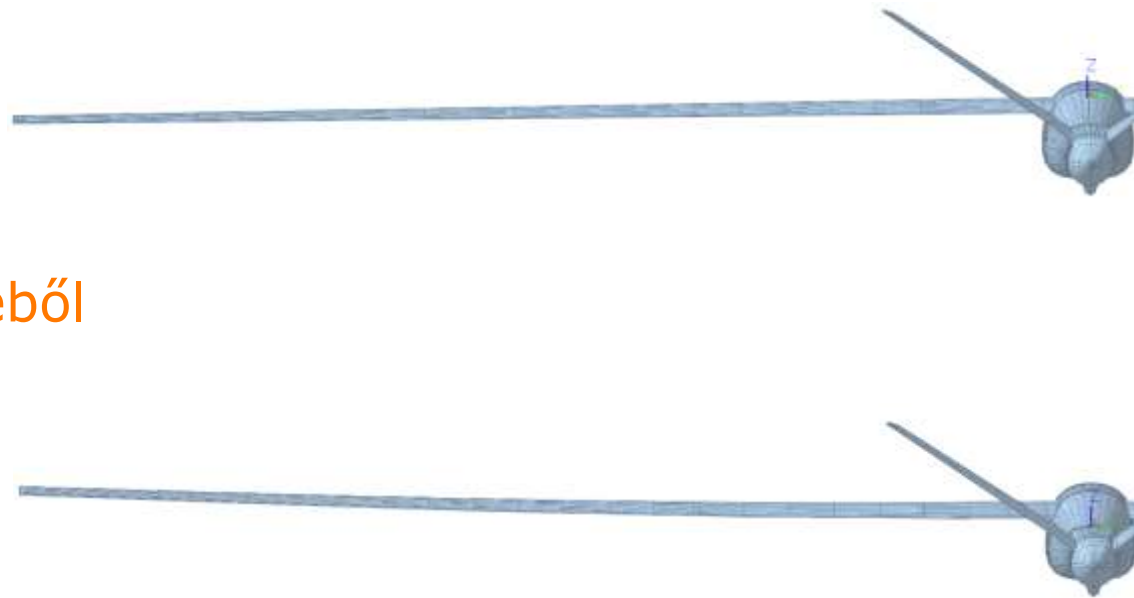


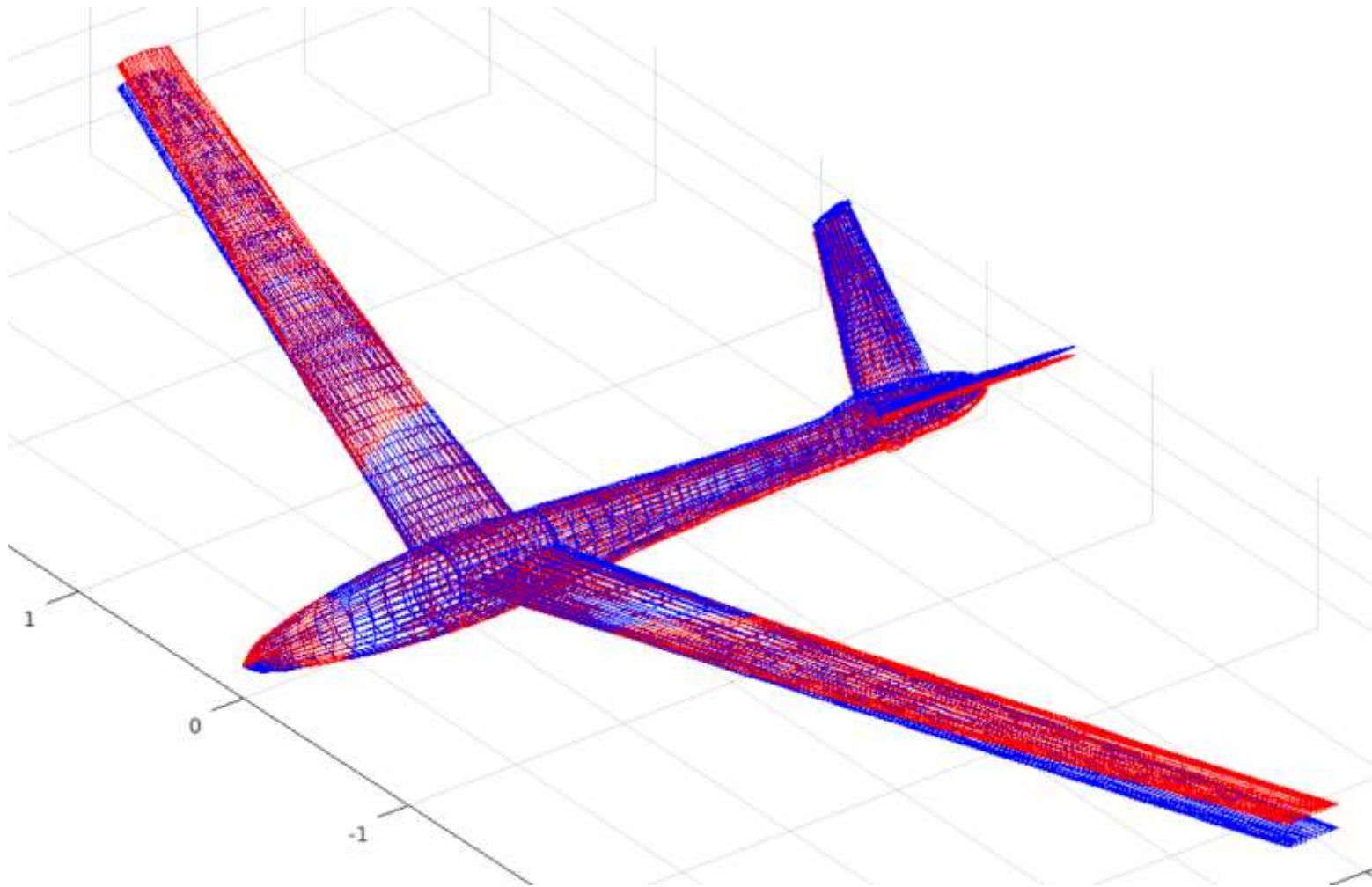
J. Martins: SIAM Conference on Optimization, 2014

- Panel módszer
 - Csak a felszín körüli teret számolja
 - 1-2 nagyságrendel gyorsabb mint a CFD
- Kiszámított változók:
 - Globális (pl.: CL , CDi , CM , stb...)
 - Panelenkénti (pl.: cl , cdi , cm , stb...)

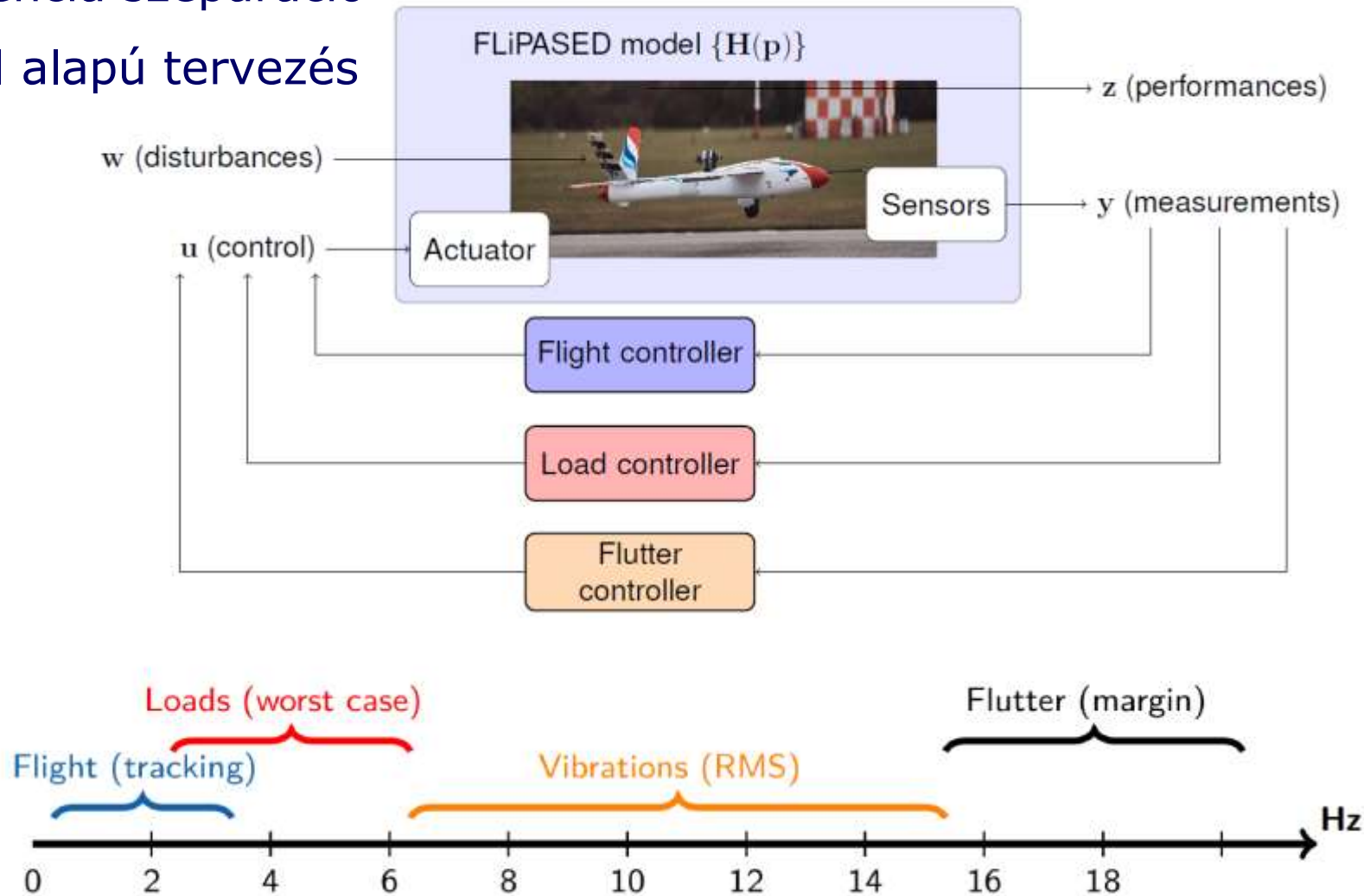


- Iteratív folyamat:
 - Szerkezet deformáció szimuláció eredményének beolvasása
 - Új panel háló
 - Áramlásmodellezés
 - Panelek nyomásértékéből deformáció
 - Deformált geometria visszaolvasása
- Egyensúlyi értékek eléréséig

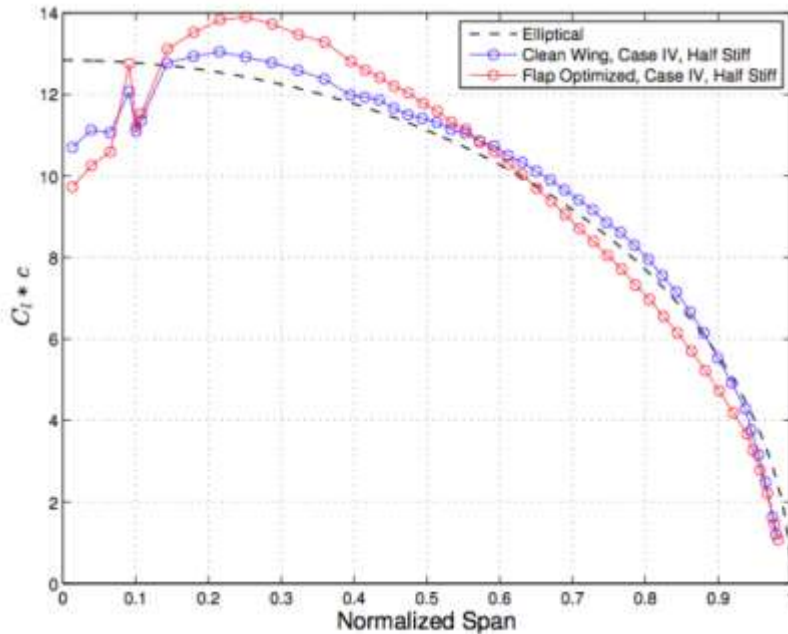




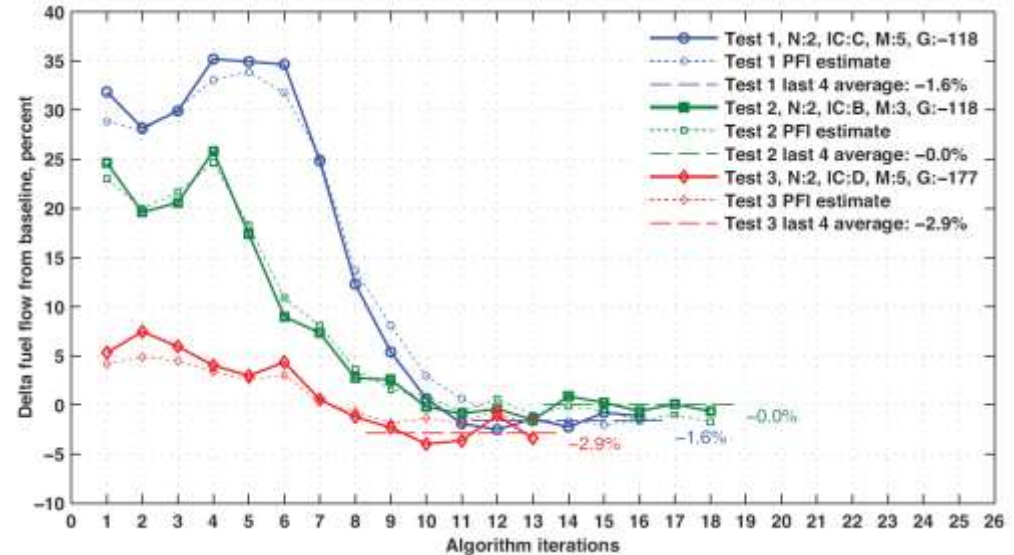
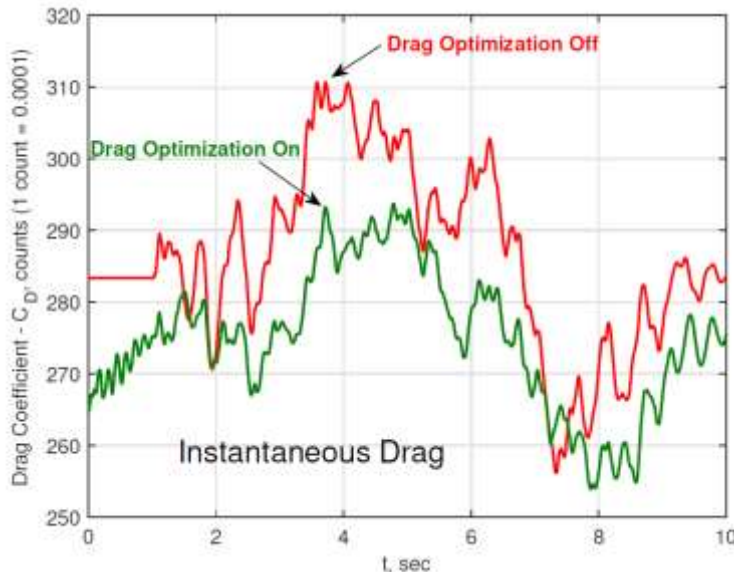
- Szabályozás több egymásba ágyazott visszacsatolási hurokkal
- Frekvencia szeparáció
- Modell alapú tervezés



Ellenállás csökkentő szabályozás

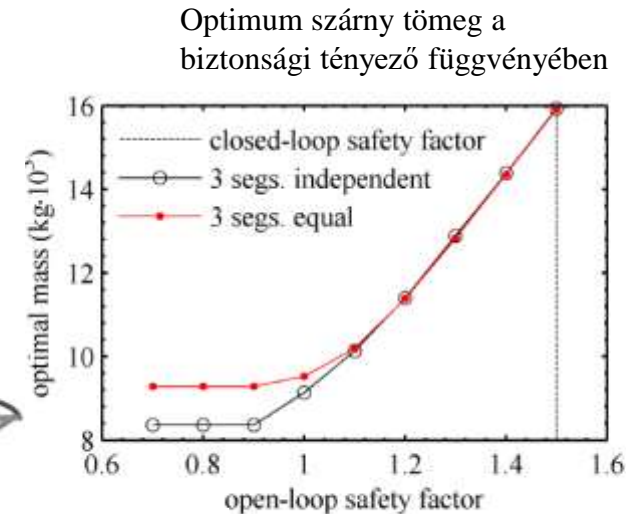
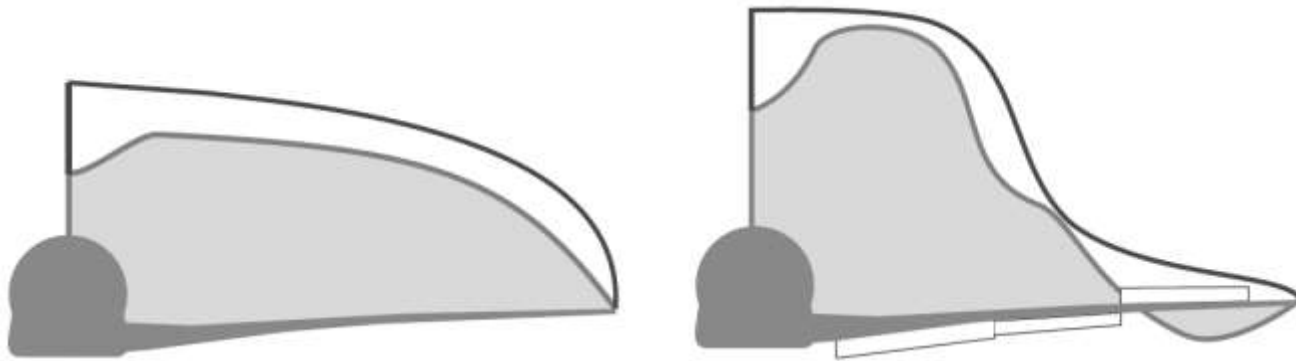


- 1-6 % ellenállás csökkentés önmagában (1 munkapontra optimált szárny)
- A repülőgép nem tökéletes – modell
→ ← valóság
- NASA repülési tesztek (F-18) – 3% megtakarítás



Manőver Terhelés Csökkentés (MLA)

- Aktív rendszerrel a tervezési biztonsági tényező fenntartható
- Akár 50%-os szárny tömeg csökkenés*



w/ maneuver load alleviation
safety factor = 1.5

w/o maneuver load alleviation
safety factor = 1.0

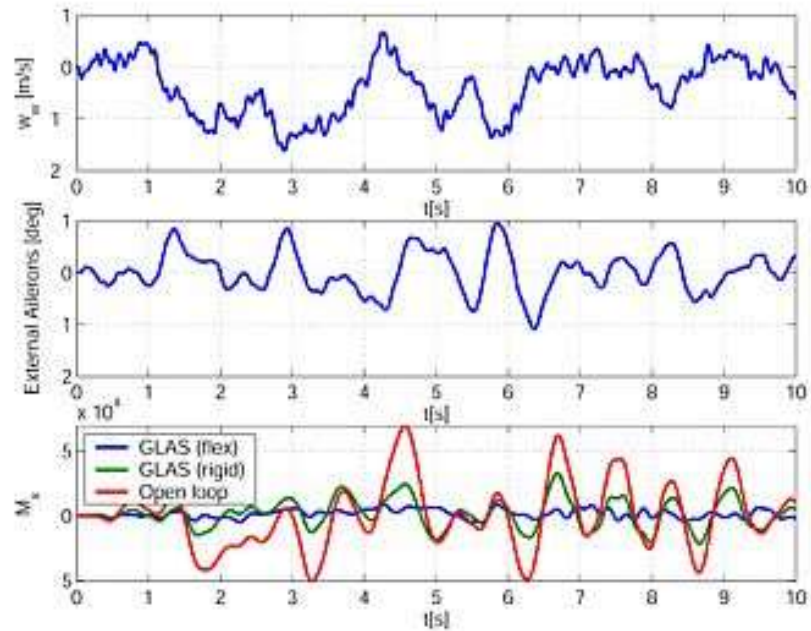
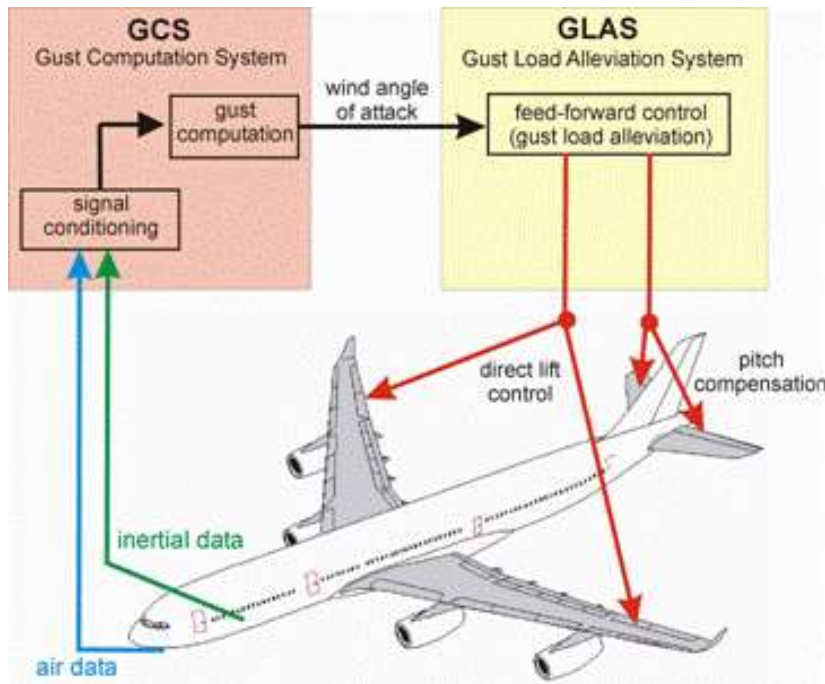
stress failure index

0 0.5 1

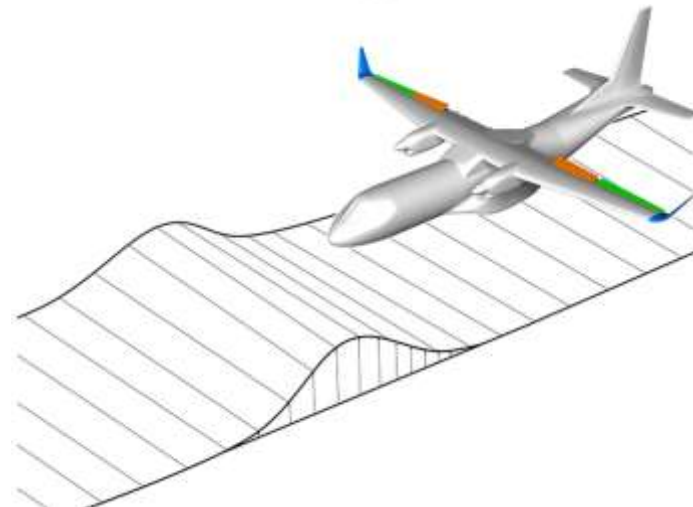
Deformáció és stressz alapú törési valószínűség 2.5 G manővernél, MLA – 1.5 bizt. tényező (bal), hagyományos 1.0 bizt. tényező (jobb)



Szellökés Terhelés Csökkentés (GLA)

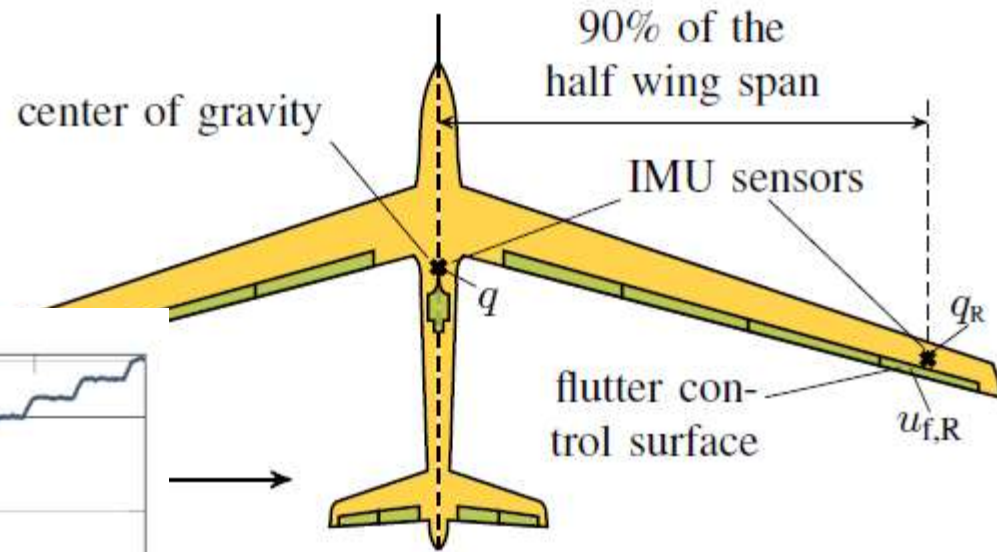


- 3% terhelés csökkentés a szárnytőben, akár 10% a szárny külső részein a meglévő szenzorokkal
- Előre néző szélesség mérő lidarral akár 10 %

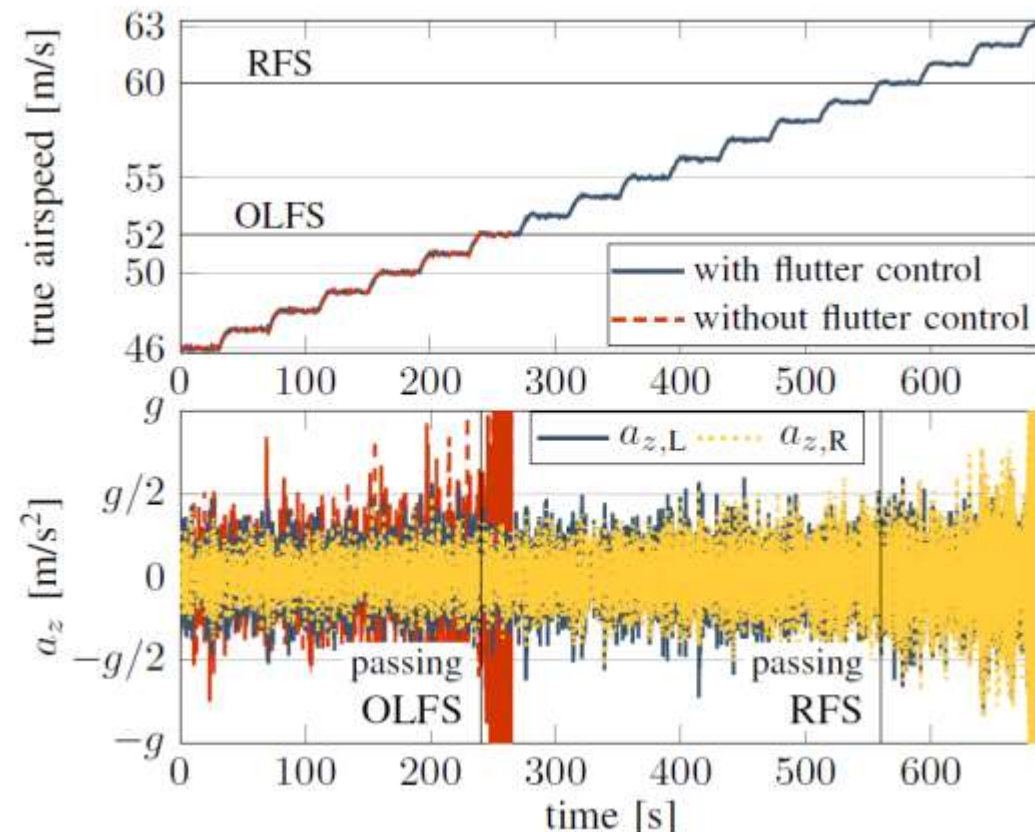


Flutter szabályozás

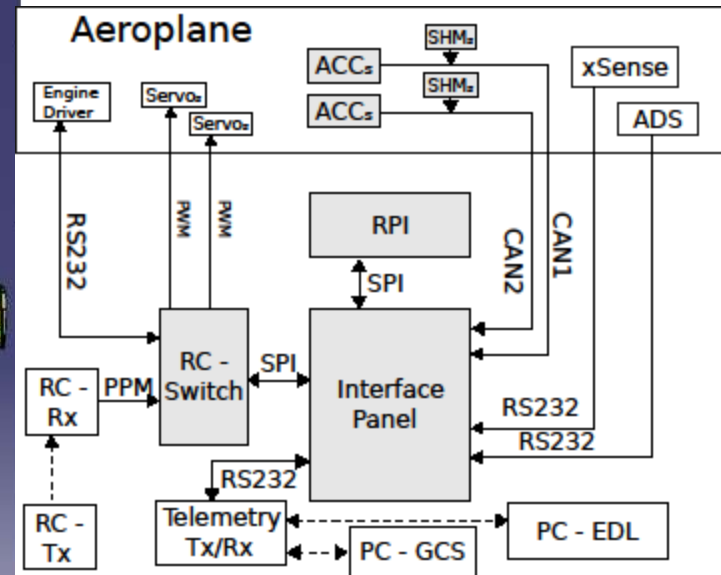
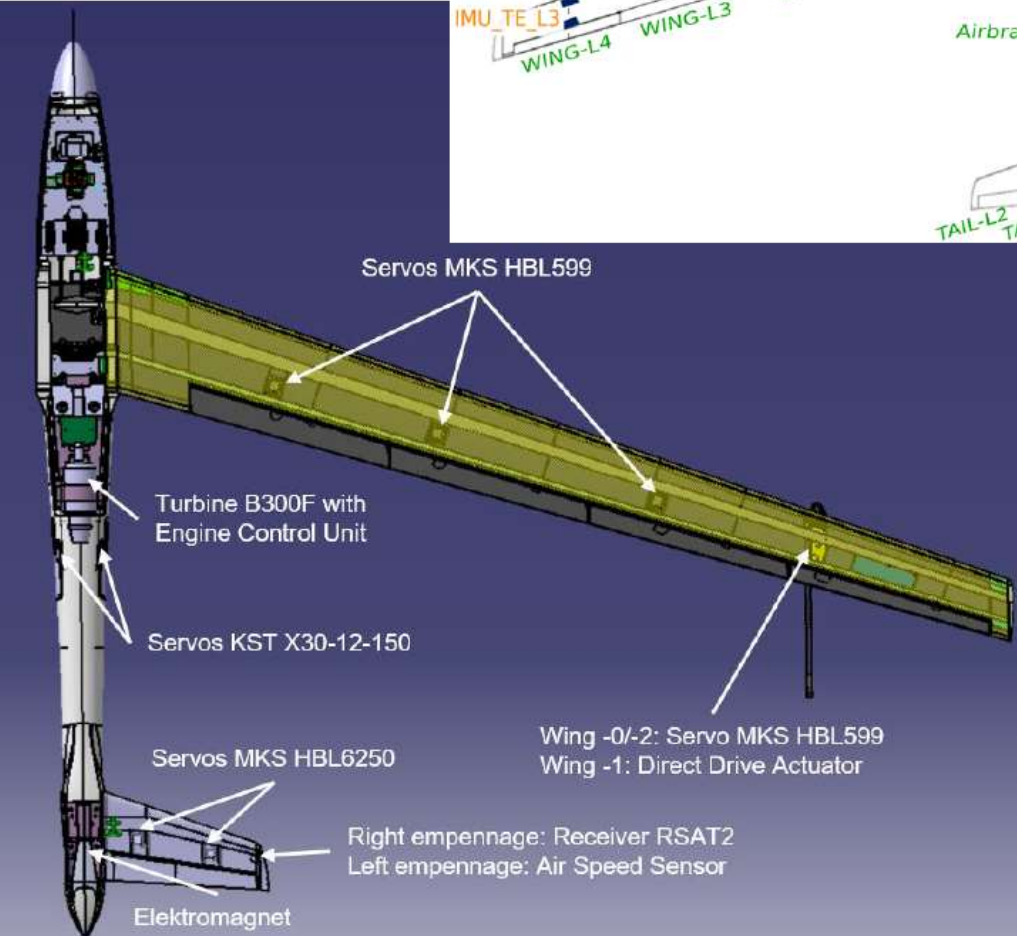
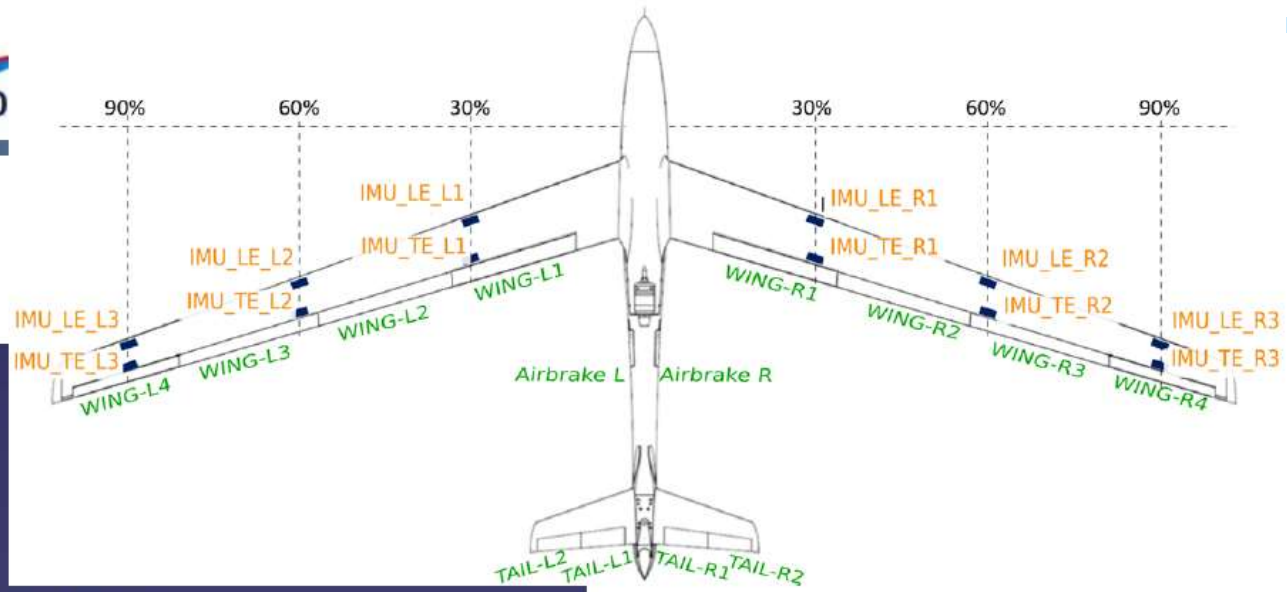
- A tervezéskor jelentős tényező a flutter elkerülése
- Repülési tesztek során utólag is kiderülhet



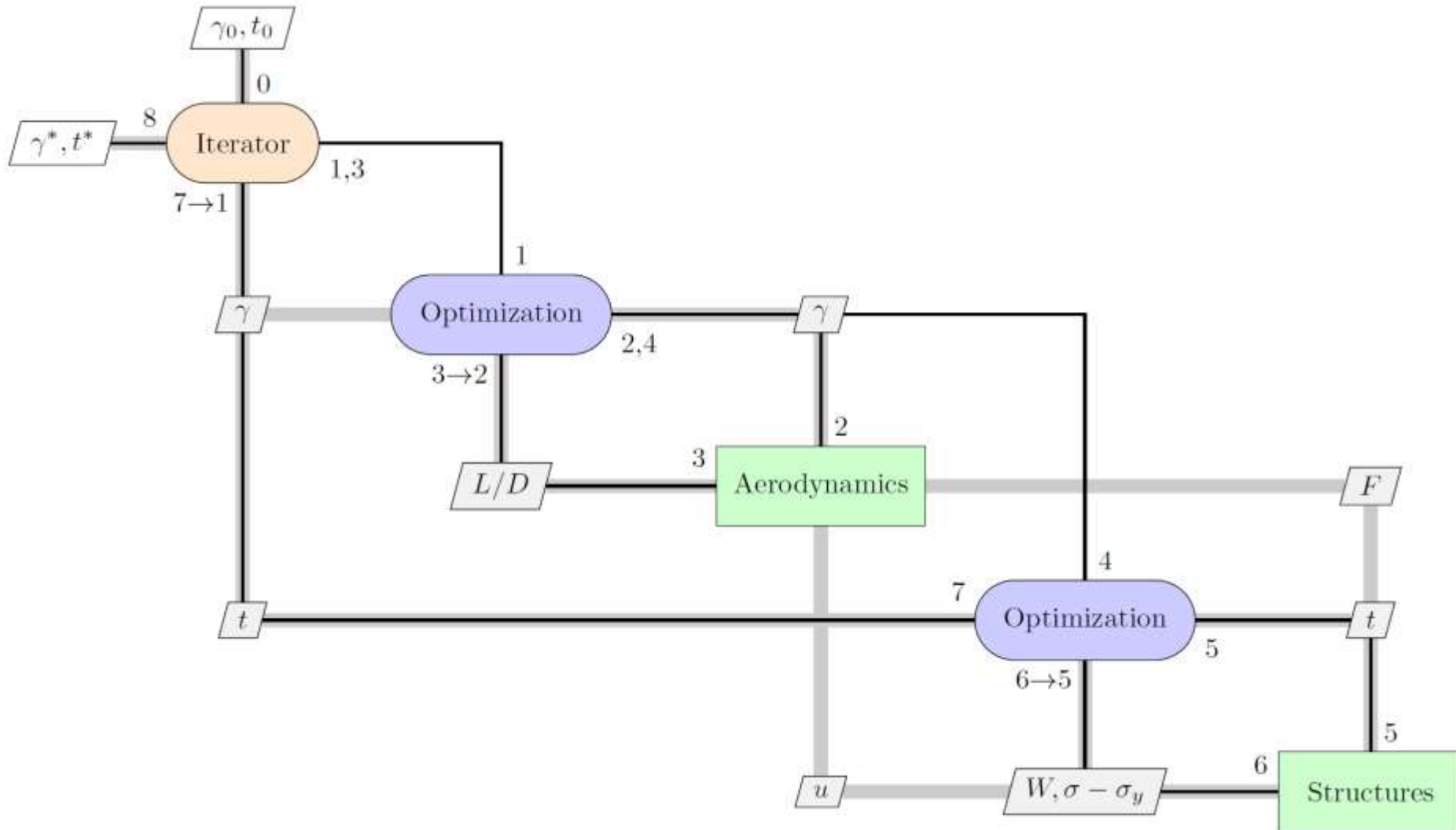
- Magas frekvenciás, így nehezen kezelhető
- Biztonságkritikus



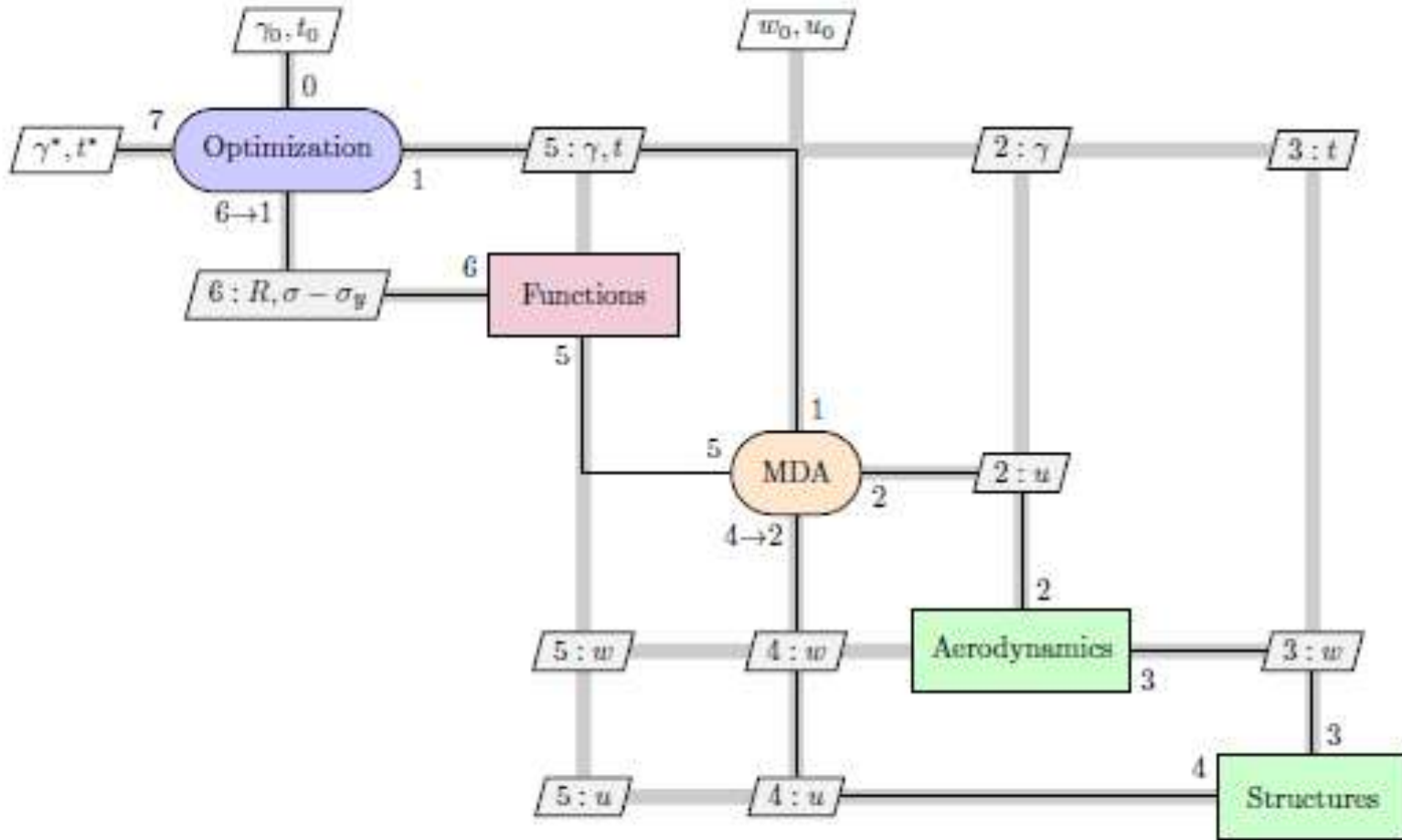
Fedélzeti Avionika Megvalósítása



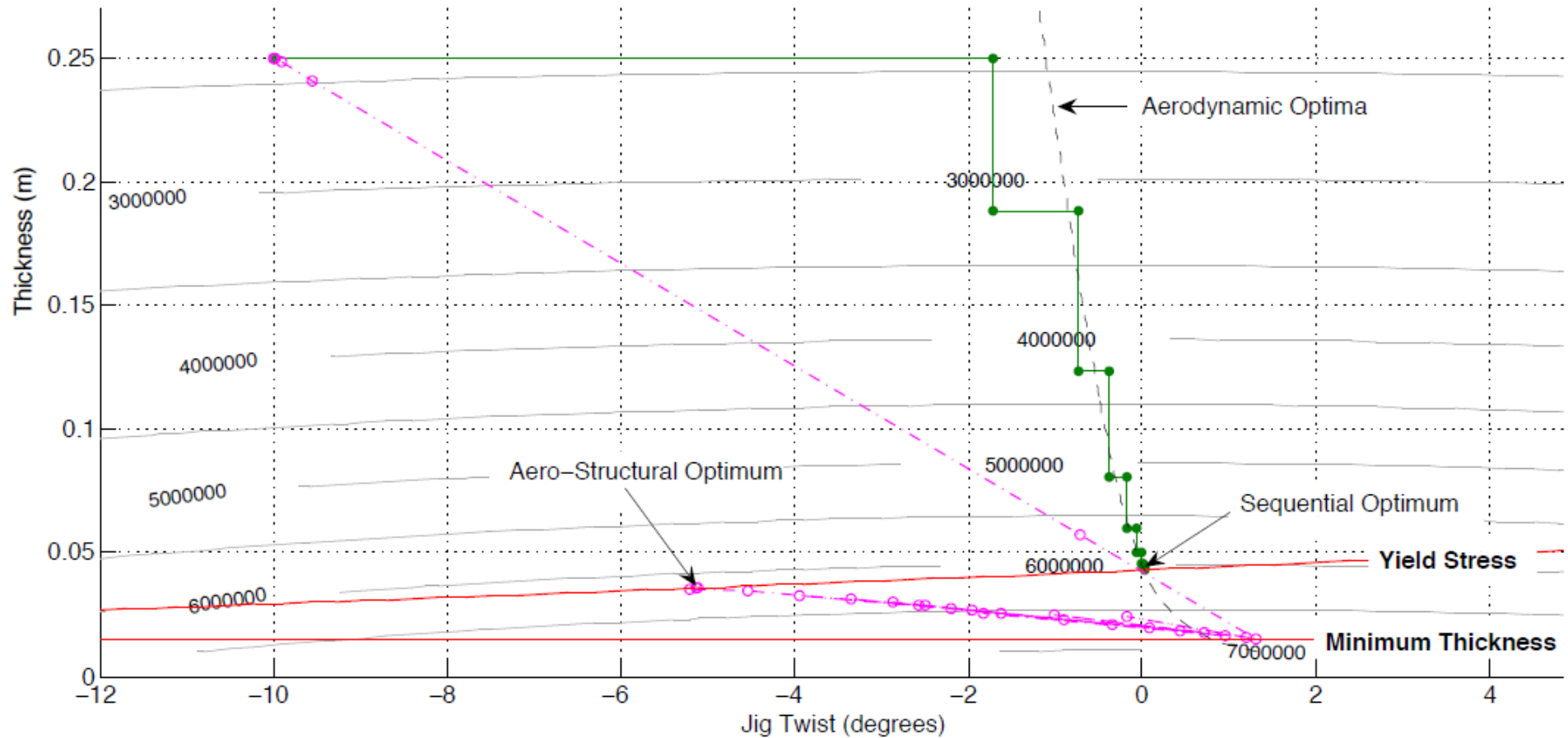
Szekvenciális tervezés (SDO)



Együttes tervezés (MDO)

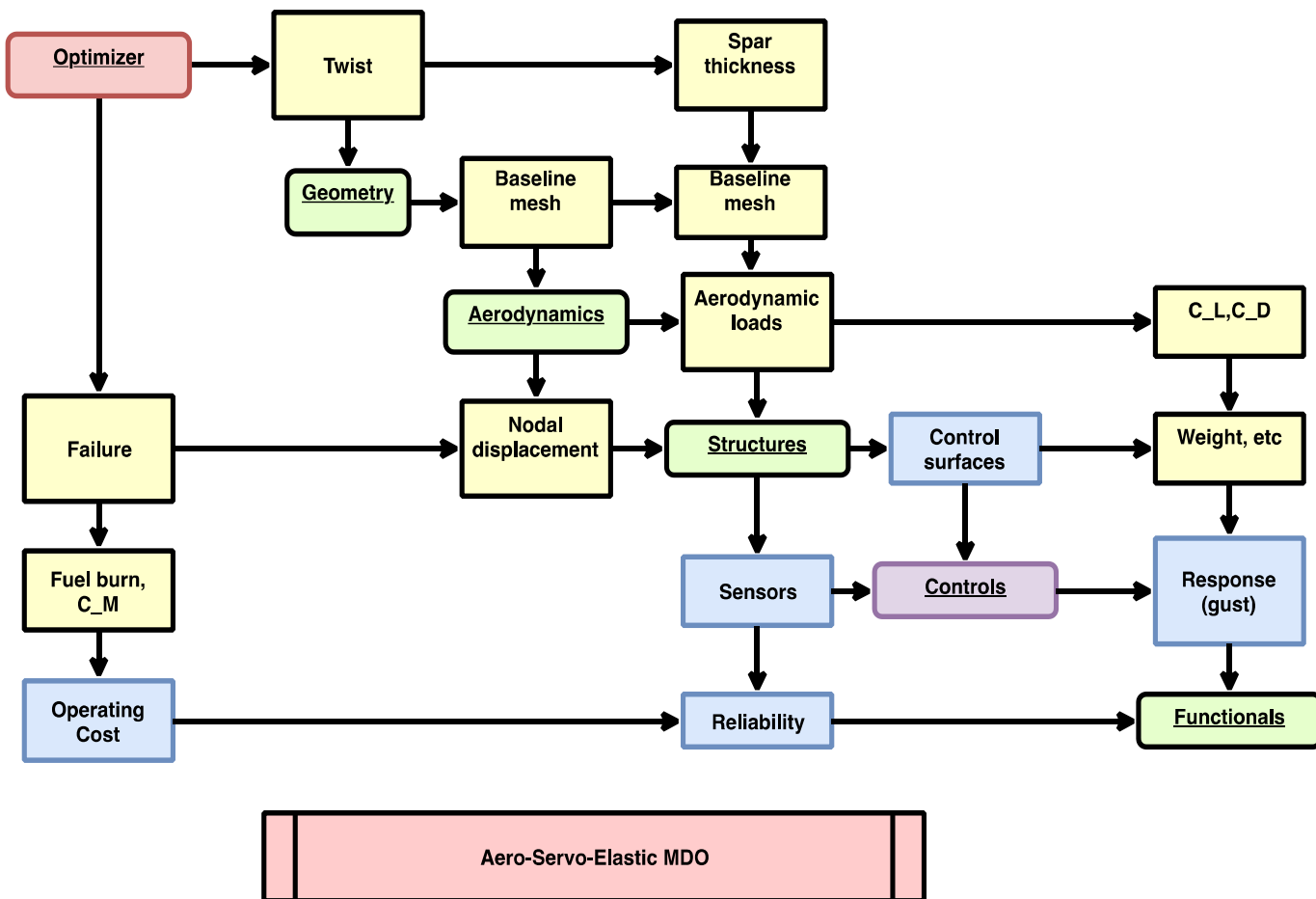
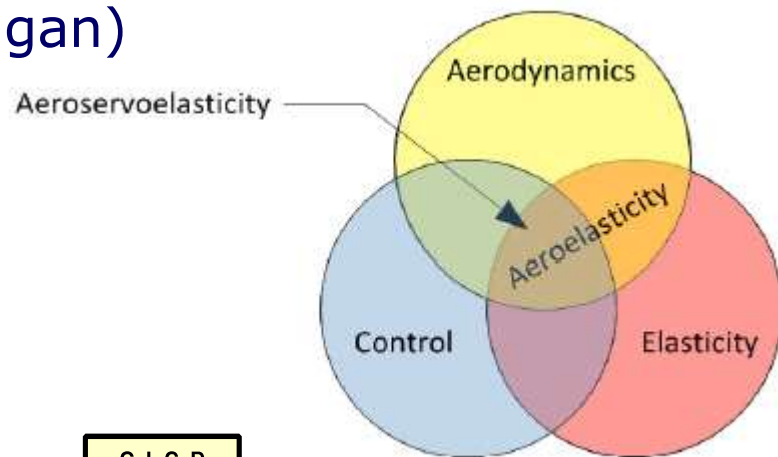


Szekvenciális vs. Globális Optimalizáció



Szerkezet-Aerodinamika-Szabályozás

FLIPASED H2020 projekt – **SZTAKI**, DLR, ONERA, TUM
(+Airbus, Dassault, TU Delft, U of Michigan)

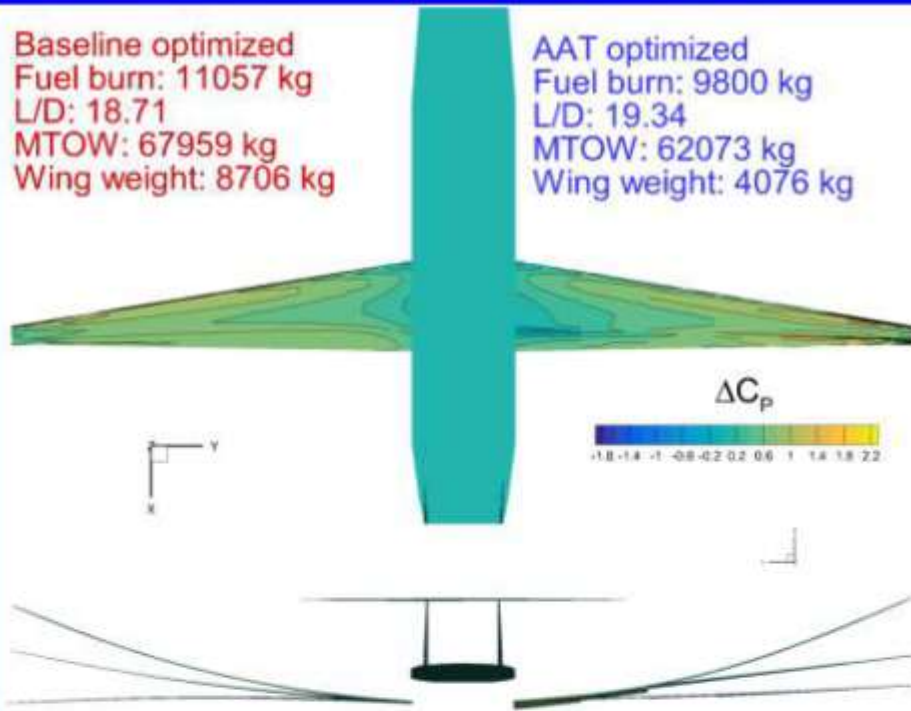


Köszönöm a figyelmet!

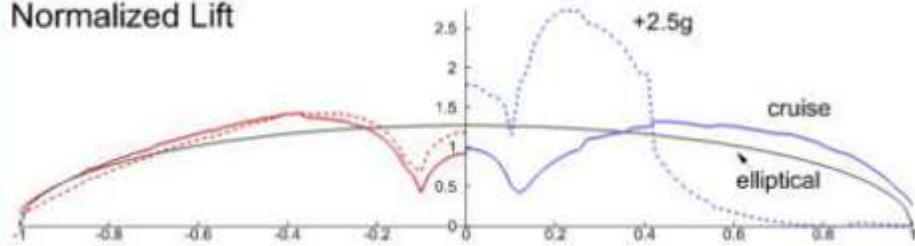


Baseline optimized
 Fuel burn: 11057 kg
 L/D: 18.71
 MTOW: 67959 kg
 Wing weight: 8706 kg

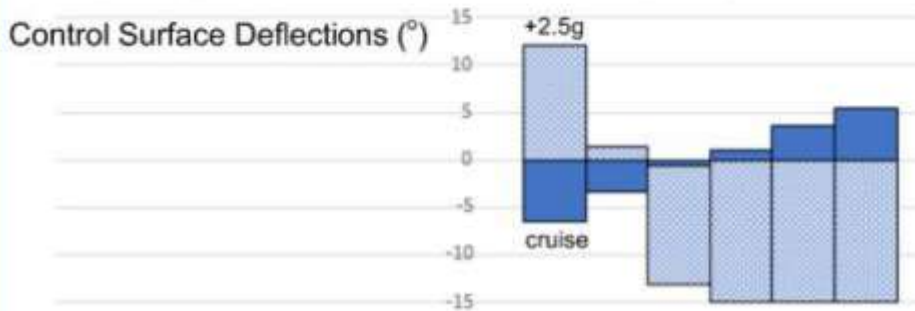
AAT optimized
 Fuel burn: 9800 kg
 L/D: 19.34
 MTOW: 62073 kg
 Wing weight: 4076 kg



Normalized Lift

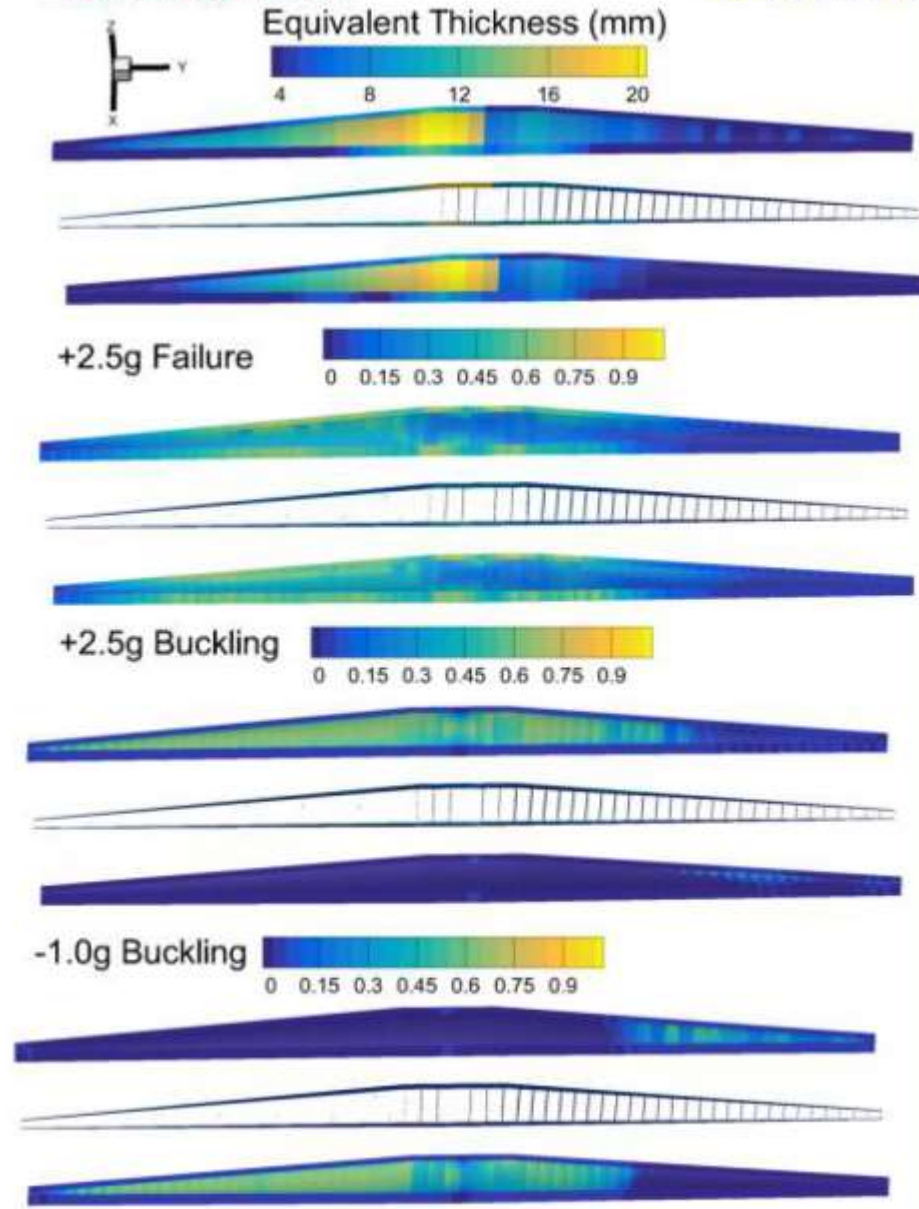


Control Surface Deflections (°)

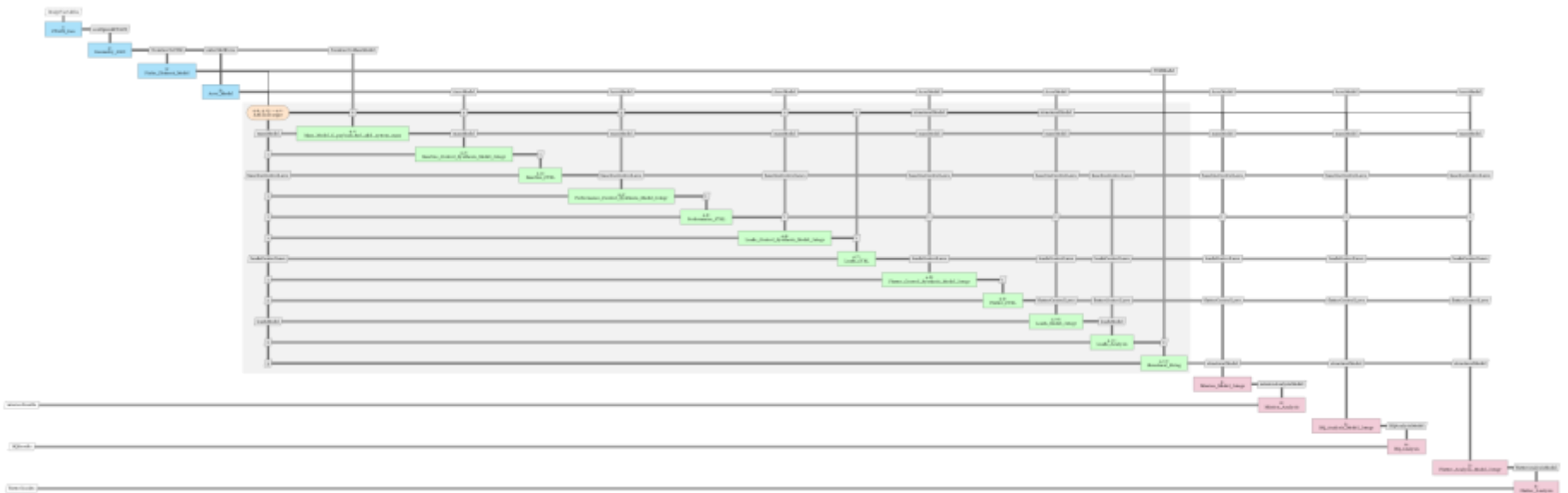


Baseline optimized

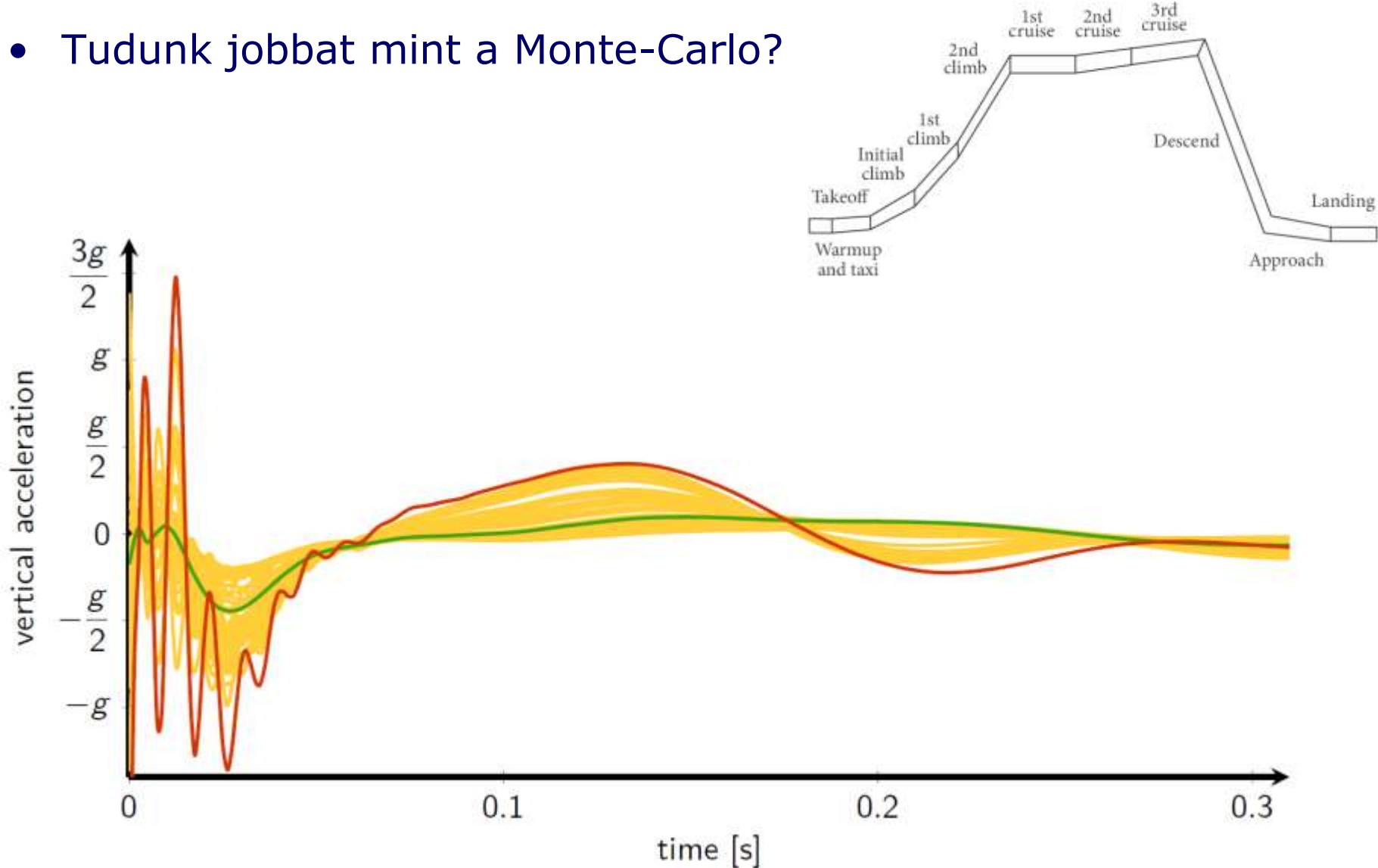
AAT optimized



FLiPASED (H2020) - MDAX

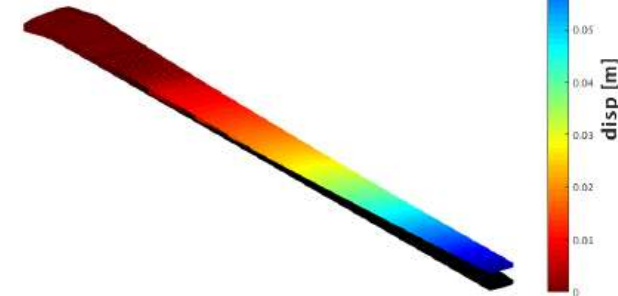


- Tudunk jobbat mint a Monte-Carlo?



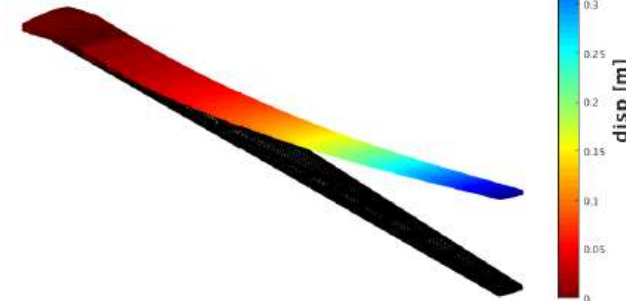
- Mission Design and Analysis for Unmanned In-Flight Aeroelastic Testing
- Conceptual Design of an Unmanned Demonstrator
- Development of Methods & Tools for Aeroelastic Tailoring
- Wing Sizing buckling driven
- 4% reduction in structural mass (-2 vs. -0)
- 6% and 11% reduction in root bending moment in 5g and -2g load case. (-2 vs. -0)
- Establishment of a Design Loop for a Flutter Damping Demonstrator
- Development of Structural & Aerodynamic Modelling of
- Design of a Reference Wing, an Aeroelastic Tailored Wing and a Active Flutter Damping Wing

Mach: 0.133
h: 800.0 m
q: 1147.8 Pa
n: 1.00 g
alpha: -0.711 deg



1g Load Case

Mach: 0.133
h: 800.0 m
q: 1147.8 Pa
n: 5.00 g
alpha: 10.169 deg



5g Load Case