



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS (NTUA)

SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

LAB. OF THERMAL TURBOMACHINES

PARALLEL CFD & OPTIMIZATION UNIT (PCOpt/NTUA)

Μέθοδοι (Αεροδυναμικής) Βελτιστοποίησης

Κυριάκος Χ. Γιαννάκογλου, Καθηγητής ΕΜΠ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΜΑΘΗΜΑ

7^ο Εξάμηνο



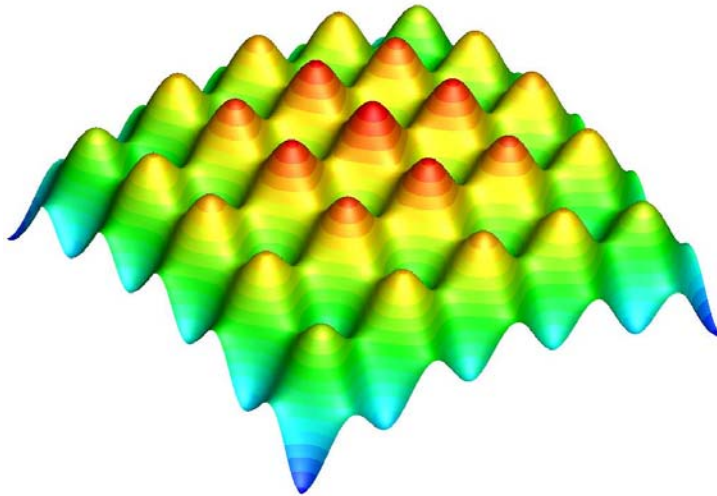
Γενικά για το μάθημα

- Η **βελτιστοποίηση (optimization)** υπεισέρχεται σε κάθε επιστήμη.
- Βελ/ση λαμβάνει χώρα, ακόμη και αν αυτό δεν φαίνεται ή λέγεται ξεκάθαρα, σε κάθε σχεδιασμό προϊόντος, υπηρεσίας ή διεργασίας.
- Το θέμα είναι όχι μόνο να βρίσκεται η βέλτιστη λύση ή οι βέλτιστες λύσεις (optimal solutions) του προβλήματος αλλά αυτό να γίνεται αποδοτικά-γρήγορα (με το μικρότερο δυνατό κόστος).
- Οι μέθοδοι βελ/σης (που παρουσιάζονται) είναι γενικής εφαρμογής. Οι μέθοδοι βελ/σης, σε γενικές γραμμές, είναι ίδιες ανεξάρτητα από τον αν εφαρμόζονται στην αεροδυναμική, στην υδροδυναμική, στις κατασκευές, στους αυτοματισμούς, σε ενεργειακά θέματα κλπ. Μόνο κάποιες ιδιαιτερότητες αλλάζουν...
- «Παλιός» τίτλος μαθήματος: «Μέθοδοι Αεροδυναμικής Βελτιστοποίησης»
- Η Μηχανική των Ρευστών ως πεδίο εφαρμογής της βελ/σης δεν είναι περιοριστικό.
- Το πιο ενδιαφέρον σημείο: βελ/ση σε προβλήματα που διέπονται από μ.δ.ε.



Με τη ματιά του Μαθηματικού

- Τοπικό (local) vs. Καθολικό/ολικό (global) ακρότατο (extremum).
- Βελτιστοποίηση (optimization) vs. Βελτίωση του υπάρχοντος (improvement).
- Ελάχιστο (min.) vs. Μέγιστο (max.).
- Συναρτήσεις με πολλά ακρότατα (Multimodal functions)
- Ευτυχώς, η πλειονότητα των πραγματικών προβλημάτων δεν είναι έτσι!



Κλασικό πρόβλημα μεγιστοποίησης μιας συνάρτησης δύο μεταβλητών $F(b_1, b_2)$. Εκατοντάδες συναρτήσεις όπως αυτήν, στον πολυδιάστατο χώρο (λχ. με 30... 50 αγνώστους) είναι τα κλασικά προβλήματα δοκιμής (benchmark problems) στα οποία οποιοσδήποτε θα κληθεί να δοκιμάσει, στην αρχική φάση, τη νέα μέθοδο βέλ/σης που σκέφτηκε.



Καθολικό ή Τοπικό ακρότατο? Ενας παραλληλισμός!

Serhiy Nazarovych Bubka (born 4 December 1963) is a Ukrainian former pole vaulter. He represented the Soviet Union until its dissolution in 1991. Bubka was twice named Athlete of the Year by Track & Field News, and in 2012 was one of 24 athletes inducted as inaugural members of the International Association of Athletics Federations Hall of Fame. Bubka won six consecutive IAAF World Championships, an Olympic gold medal and broke the world record for men's pole vault 35 times. He was the first pole vaulter to clear 6.0 metres and 6.10 metres. World record progression by S.B. (outdoor):

6.14	July 1994	Sestriere
6.13	Sept. 1992	Tokyo
6.12	Aug. 1992	Padova
6.11	June 1992	Dijon
6.10	Aug. 1991	Malmö
6.09	July 1991	Formia
6.08	June 1991	Moscow
6.07	May 1991	Shizuoka
6.06	July 1988	Nice
6.05	June 1988	Bratislava
6.03	June 1987	Prague
6.01	June 1986	Moscow
6.00	June 1985	Paris
5.94	Aug. 1984	Rome
5.90	July 1984	London
5.88	June 1984	Paris
5.85	May 1984	Bratislava





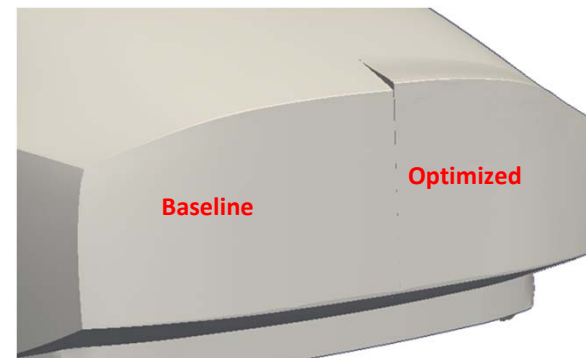
Από την Ανάλυση στη Βελτιστοποίηση

Ανάλυση (Analysis):

Με δεδομένο το σχήμα λ.χ. ενός αυτοκινήτου (ή αεροσκάφους) και δεδομένες συνθήκες ροής, να υπολογιστεί το πεδίο ροής γύρω του και (ολοκληρώνοντας τις δυνάμεις στην επιφάνειά του) να βρεθεί η οπισθέλκουσα. Η γεωμετρία είναι δεδομένη.

Σχεδιασμός-Βελτιστοποίηση (Design-Optimization):

Για δεδομένες συνθήκες ροής, να βρεθεί η μορφή λ.χ. ενός αυτοκινήτου με τη μικρότερη οπισθέλκουσα. Η γεωμετρία είναι το ζητούμενο.



VW XL1 Shape Optimization for drag minimization, using methods & s/w developed by the PCOpt/NTUA. The optimized shape has >2% drag reduction (for an aerodynamically nearly perfect car) and 30% lift improvement.



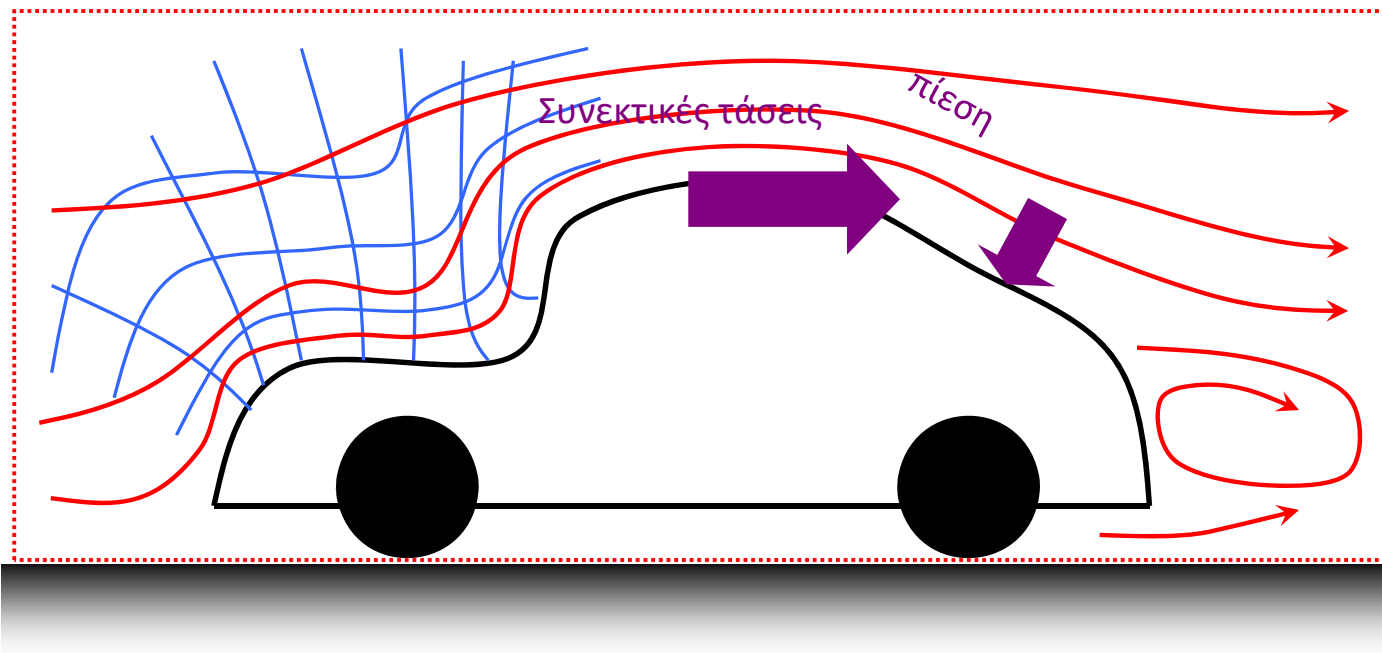
Από την Ανάλυση στη Βελτιστοποίηση

- Στην ευρύτερη Μηχανική των Ρευστών (Fluid Mechanics)
- Υπολογιστική Ρευστοδυναμική, ΥΡΔ (Computational Fluid Dynamics, CFD)
- Αεροδυναμική (Aerodynamics)
- Αεροακουστική (aeroacoustics)
- Αεροελαστικότητα (Aeroelasticity)
- Πολυφασικές ροές (Multiphase flows), κλπ, κλπ.
- Εμπορικός ή in-house (CFD) κώδικας ανάλυσης του φυσικού προβλήματος
- Πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα (source code)?
- Χρήστης (user) ή προγραμματιστής/χρήστης (programmer/user)?
- Υπολογιστικό κόστος (computational cost)
- Παραλληλοποίηση λογισμικού (S/W parallelization on CPUs or GPUs)
- Ισχύουν «τα ίδια» σε άλλες επιστήμες: Δομική Μηχανική (Structural Mechanics), Ηλεκτρομαγνητισμός (Electromagnetism), κλπ, κλπ.



Αεροδυναμική Ανάλυση “Αυτοκινήτου”

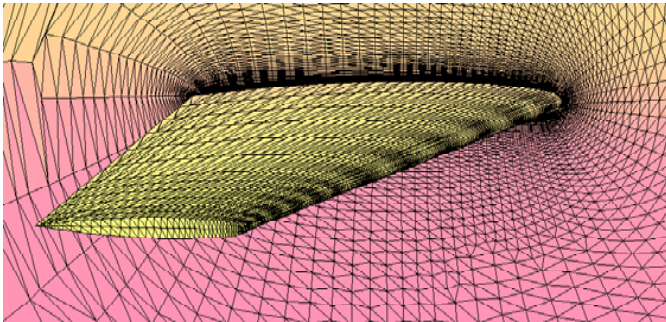
- Υπολογιστική Ρευστοδυναμική, ΥΡΔ (Computational Fluid Dynamics, CFD)



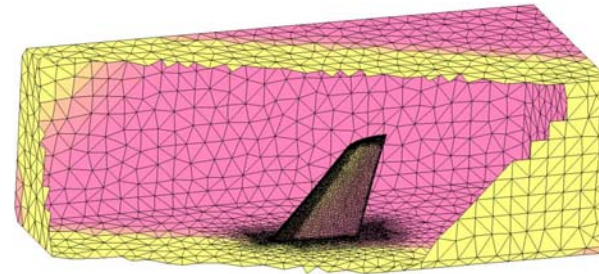
$$C_D = \int_{\text{carcontour}} \text{forces}$$



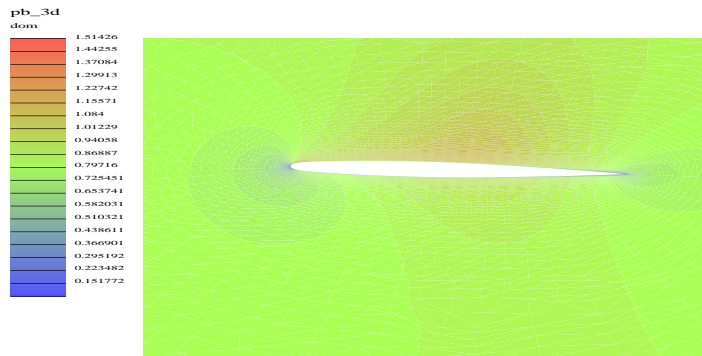
Αεροδυναμική Ανάλυση Πτέρυγας



Με γνωστή γεωμετρία μιας πτέρυγας...



γεννάται υπολογιστικό πλέγμα ...



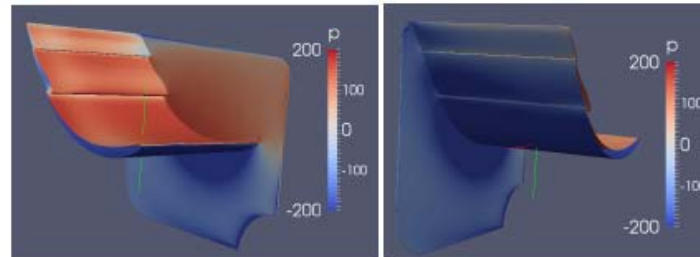
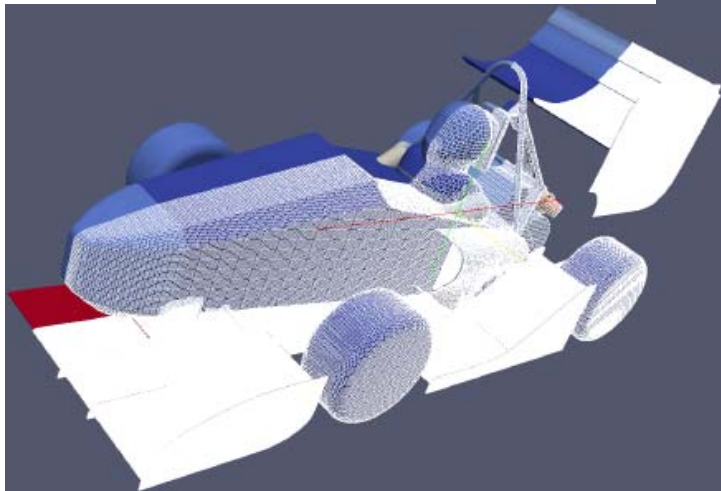
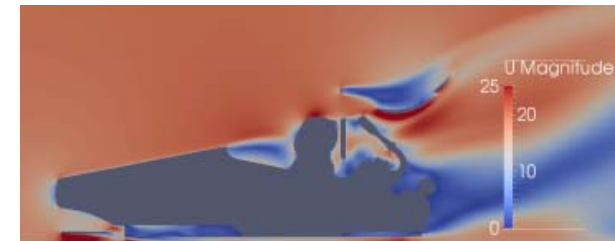
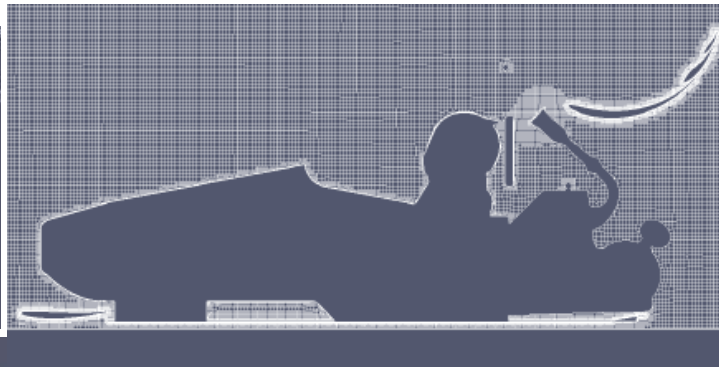
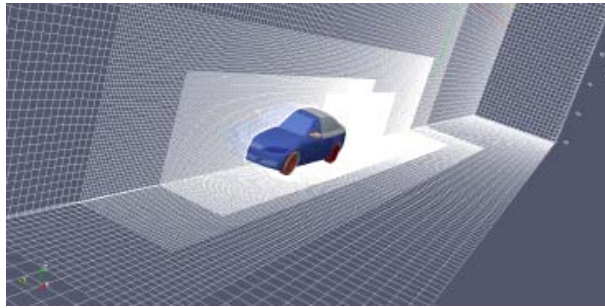
λύνονται αριθμητικά οι εξ. Navier-Stokes ...

$$C_L = \dots$$
$$C_D = \dots$$

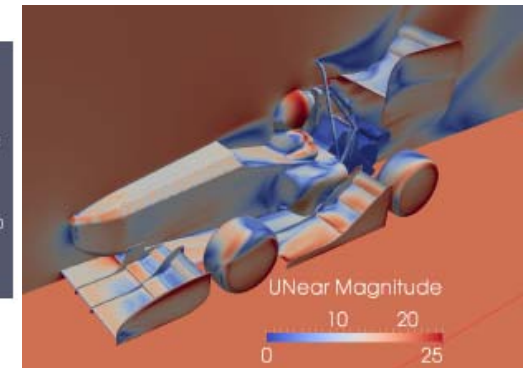
... και με μετεπεξεργασία αποτελεσμάτων ...



Αεροδυναμική Ανάλυση Αυτοκινήτου

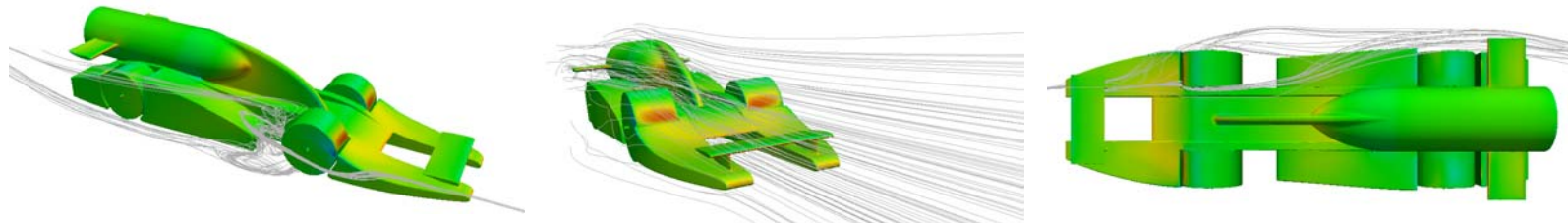


Από τη Δ.Ε. του Ν. Τραιφόρου (2016)

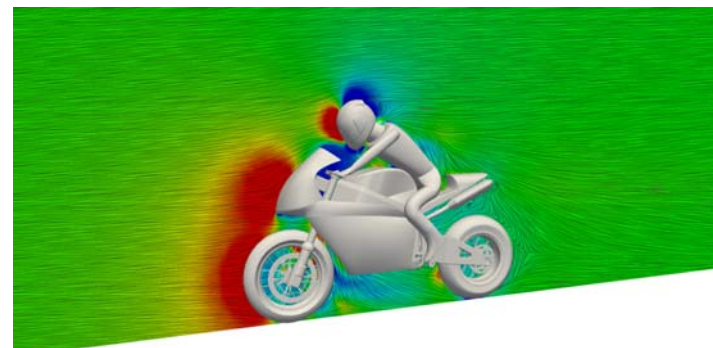
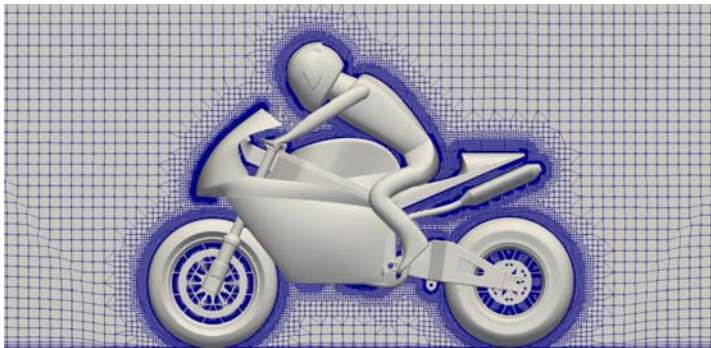




Αεροδυναμική Ανάλυση Αυτοκινήτου



'The car' is designed and manufactured for the purpose of participating in races on the F1 in Schools™ track at the World Finals event. It is powered only by a single gas cylinder containing 8 gr. of pressurised CO₂, designed to travel the 20 m. race distance as quickly as possible, whilst withstanding the forces of launch acceleration, track traversing and physical deceleration after crossing the finishing line. A first-year undergraduate student (Kyriakos Chondrogiannis), with the help of PCOpt/NTUA personnel used our CFD-optimization methods to design the fastest car in the F1 In Schools Finals (**Abu-Dhabi Finals, 2014**).



Αεροδυναμική ανάλυση αγωνιστικής μοτοσυκλέτας. Από την σε εξέλιξη διπλ. εργασία του Π. Φυκούρα, η οποία συνεχίζει και στη βελτιστοποίηση.



Λογισμικό Ανάλυσης (Πρόλεξης Ροών) της PCOpt/NTUA

The logo for OpenFOAM, featuring the word 'Open' in black, a blue triangle pointing downwards, and the word 'FOAM' in black.

- Open-Source S/W
- Aero/hydrodynamic analysis
- Various parameterization & grid displacement tools, in an automated s/w
- For incompressible, steady or unsteady flows.



- Parallel Flow-Solver, on **U**nstructured Grids, for **M**ulti-row Analysis & **A**djoint-based optimization
- For compressible or incompressible, steady or unsteady flows
- GPU-enabled (programmed in CUDA/C)
- Supported by the in-house blade parameterization (s/w **GMTurbo**) and grid displacement tools



Από την Ανάλυση στη Βελτιστοποίηση

- Το ορόσημο 2000
- Απαιτούμενα για μια μέθοδο βελ/σης (δεδομένης της μεθόδου ανάλυσης):
 - Στόχος ή στόχοι βελ/σης (objective function(s))
 - Παραμετροποίηση/Μεταβλητές σχεδιασμού (Design Variables)
 - Μέθοδος βελ/σης (optimization method)
 - Διαχείριση περιορισμών (Constraint Handling)
 - Διάφορα «περιφερειακά»
- Επιλογή μεθόδου βελ/σης (πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα ανάλυσης?)
- Gradient-free vs. gradient-based μέθοδοι βελ/σης (στοχαστικές vs. αιτιοκρατικές)
- Υπολογιστικό κόστος vs. κόστος ανάπτυξης & προγραμματισμού της μεθόδου
- Υπολογισμός ή προσέγγιση της κλίσης (Gradient) της συν. Στόχου
- Υπολογισμός & δεύτερων παραγώγων (Hessian)?



Συνάρτηση-Στόχος (Objective function)

- Το πιο γρήγορο
- Το πιο οικονομικό
- Το πιο άνετο
- Το πιο οικολογικό
- ...



- Το βέλτιστο ως προς μια συνάρτηση-στόχο (min ή max F)
- Αν οι στόχοι είναι περισσότεροι του ενός ($M > 1$), βλ. παρακάτω
- Συν/ση-Στόχος (Objective Function) («Αντικειμενική» Συνάρτηση)
- Συν/ση-Κόστους (Cost Function), αν ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.
- Συν/ση-Καταλληλότητας (Fitness Function), αν ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.



Συνάρτηση-Στόχος (Objective function)

- Στα σύνθετα τεχνολογικά προβλήματα, υπάρχουν συχνά πολλές επιλογές. Λ.χ. υπάρχει η δυνατότητα να συνενωθούν στόχοι σε μια αντικειμενική συνάρτηση (ή όχι), να γίνει διαχείριση στόχων στη μορφή περιορισμών (constraints), κλπ.
- Ο μηχανικός λαμβάνει σχετικές αποφάσεις. Οι αποφάσεις αυτές δεν είναι συνήθως ανεύθυνες για την απόδοση και το υπολογιστικό κόστος μιας βελτιστοποίησης.
- Απλό παράδειγμα διαφορετικών επιλογών:

$\max C_L$
 $\min C_D$

$\min -C_L$
 $\min C_D$

$\min 1/C_L$
 $\min C_D$

$\max C_L$
 $\max -C_D$

$\min C_D + w/C_L$

$\min C_D + 1/C_L$

$\min C_D + 10/C_L$

$\min C_D$
υπό τον περιορισμό: $C_L = 1.2$

$\min C_D$
υπό τον περιορισμό: $C_L > 1.2$



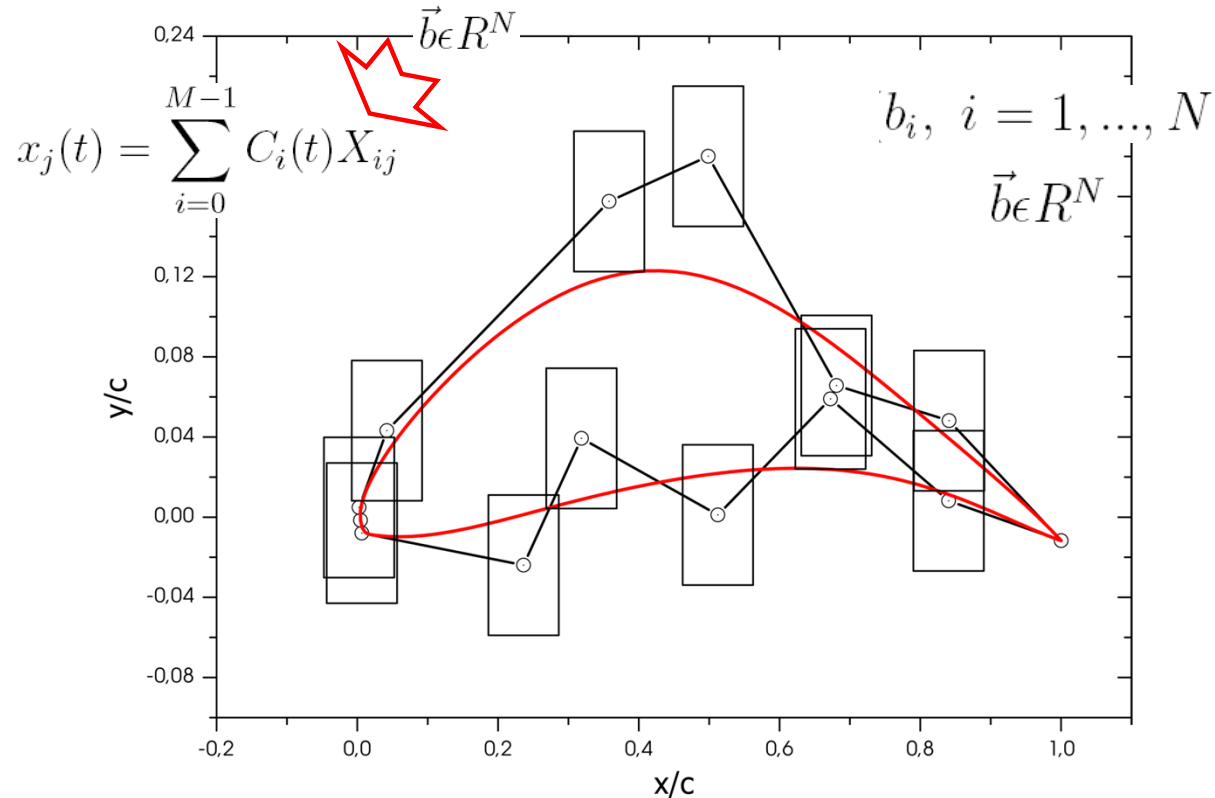
Χρήσιμοι/Βασικοί Όροι - Ορολογία

- ▶ Μονοκριτηριακή Βελ/ση (Single-Objective Optimization, **SOO**)
- ▶ Πολυκριτηριακή Βελ/ση (Multi-Objective Optimization, **MOO**)
- ▶ Διαπεδική Βελ/ση (Multi-Disciplinary Optimization, **MDO**)
- ▶ Πρόβλημα Αντίστροφου Σχεδιασμού (Inverse Design Problem)

Σχεδιασμός	↔	Design
Σχεδίαση	↔	Drawing



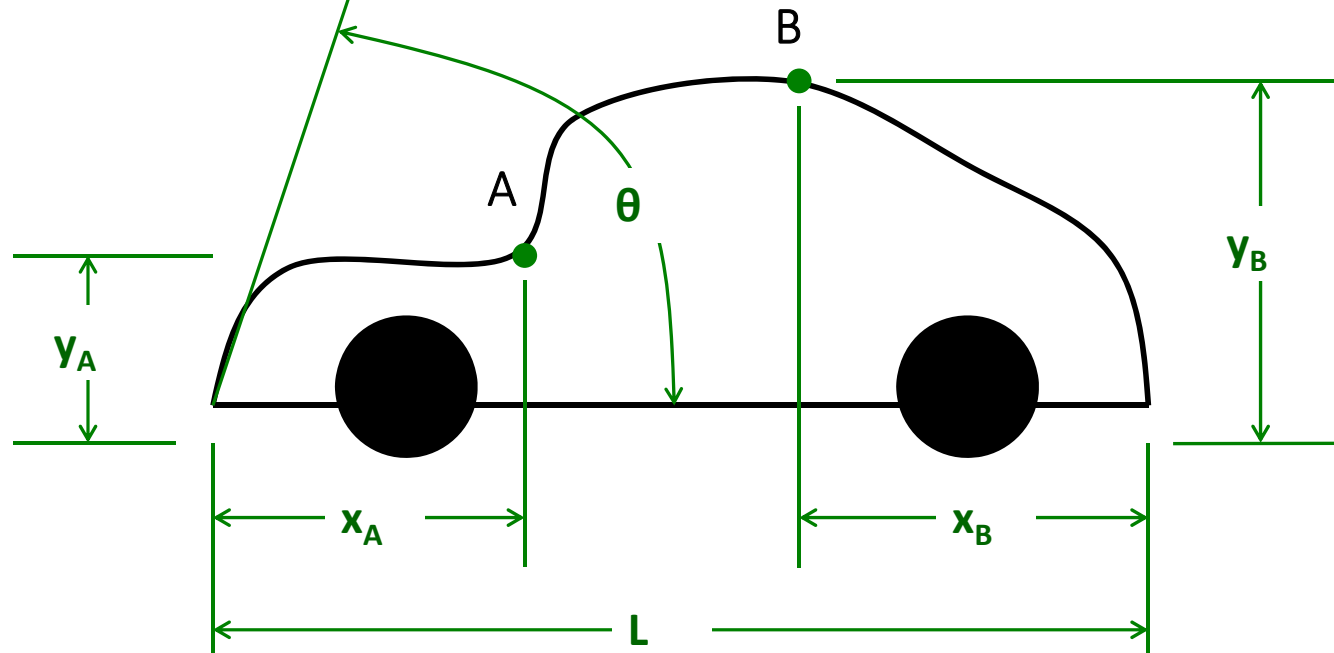
Παραμετροποίηση Μορφής - Shape Parameterization



Example: Parameterization of an airfoil contour through the synthesis of two Bezier curves. The coordinates of (some of) the Bezier control points are the design variables. There are N design or optimization variables.



Παραμετροποίηση Μορφής - Shape Parameterization



N=6 degrees of freedom (DOFs; Βαθμοί Ελευθερίας)
Μεταβλητές σχεδιασμού (design variables)
Μεταβλητές Βελ/σης (Optimization variables)



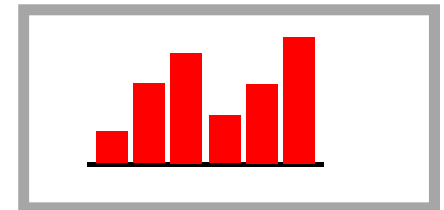
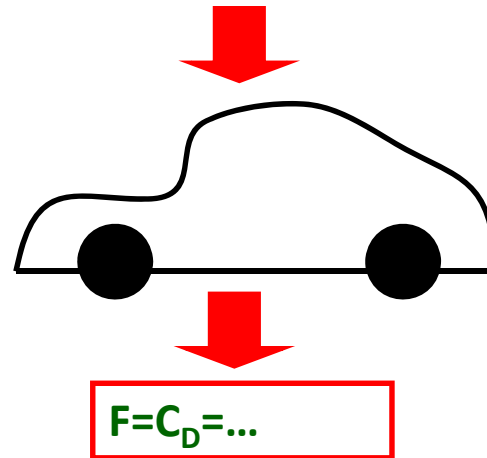
Αξιολόγηση Υποψήφιας Λύσης (CFD-Evaluation)

L	x_A	y_A	x_B	y_B	θ
-----	-------	-------	-------	-------	----------

$\vec{b} =$

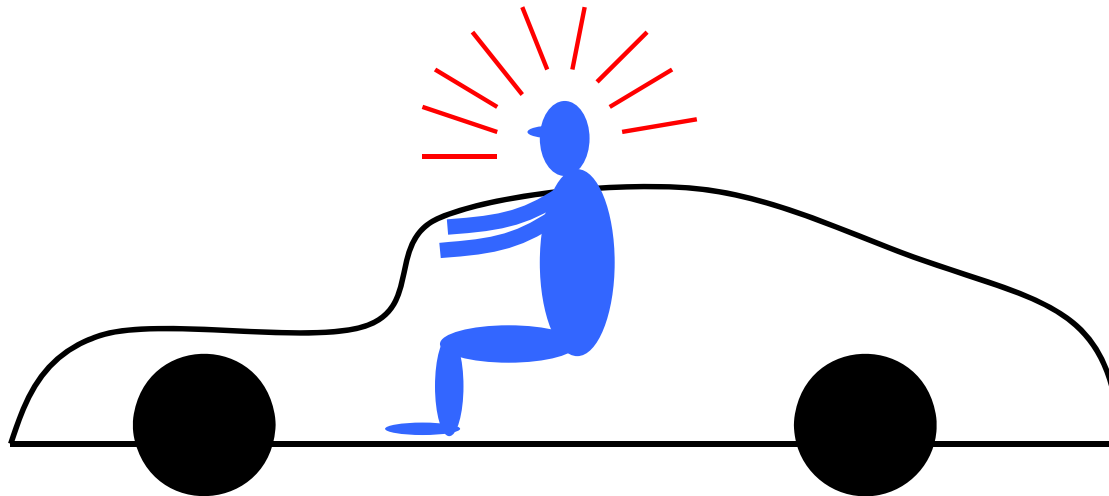
$b_1=...$	$b_2=...$	$b_3=...$	$b_4=...$	$b_5=...$	$b_6=...$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Το κοστίζον τμήμα της βελ/σης.
 Το κόστος της βελ/σης μετράται σε
 πλήθος κλήσεων του λογ/κού
 αξιολόγησης (number of evaluation
 s/w calls).





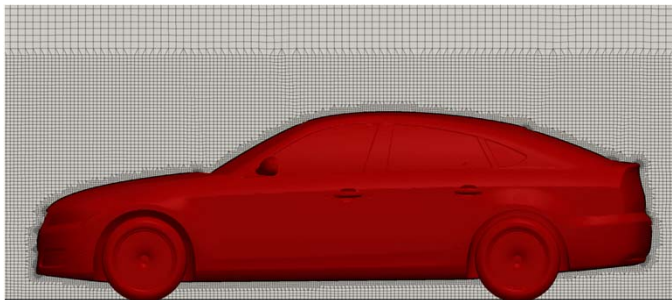
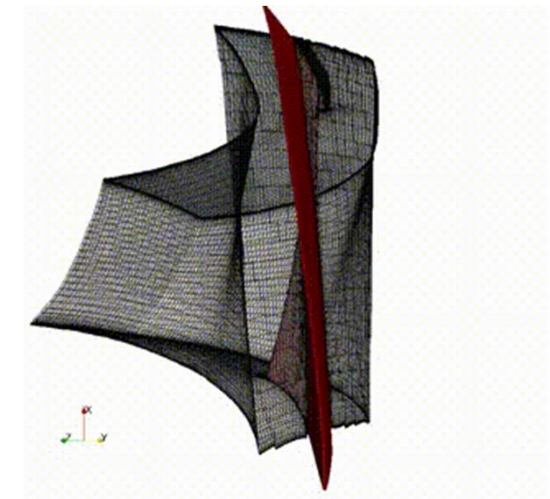
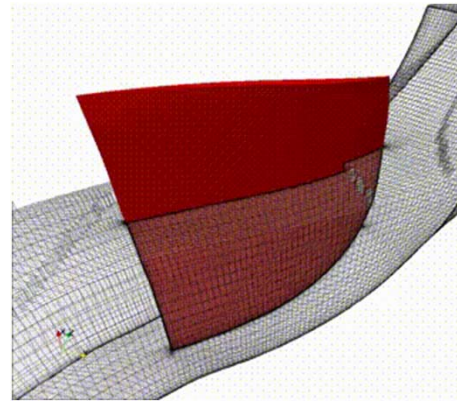
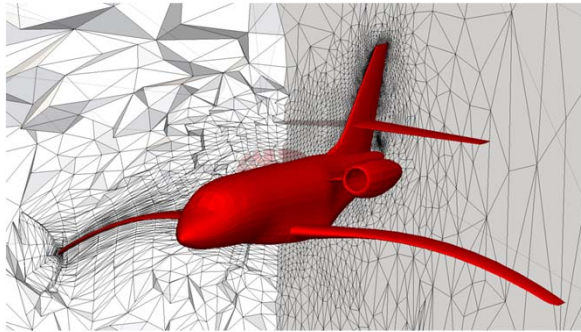
Περιορισμοί



Μια μη-αποδεκτή λύση (Infeasible solution).



«Περιφερειακά» The PCOpt/NTUA Grid Displacement S/W



Fast grid displacement tools to support shape optimization. Internal grid is adapted to the displaced boundaries, in each optimization cycle. Very efficient. This is a good reason to avoid remeshing; other reasons?

Also used in: Flows in domains with moving boundaries, aeroelasticity, etc

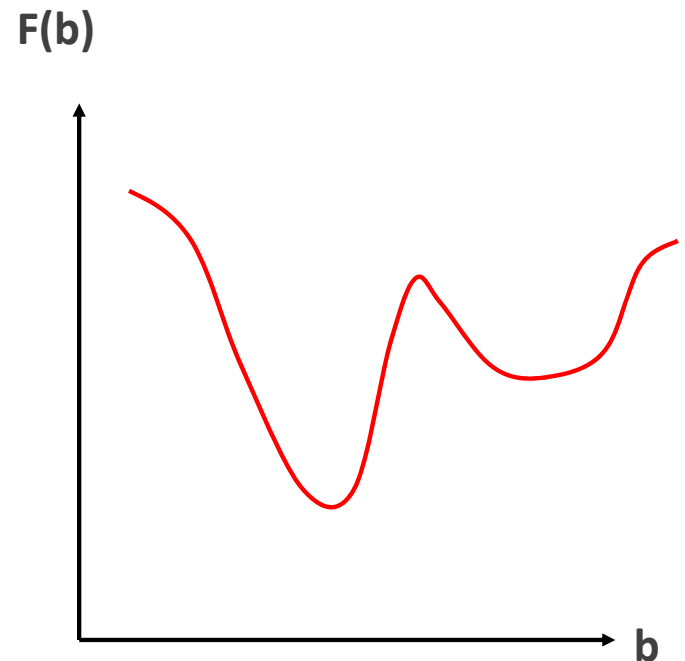
Many different tools developed by the PCOpt/NTUA are available: Algebraic models (Inverse Distance Weighted, IDW), Laplacian Models, Volumetric B-Splines, Linear/Torsional Spring Analogies, Harmonic Coordinates, Delaunay Graph, etc



Μέθοδοι Βελ/σης (Optimization Methods)

Gradient-Based Method (Μέθοδοι Κλίσης F)
vs.
Stochastic Methods (Στοχαστικές Μέθοδοι)

Individual-based Methods (Ατομικές Μέθοδοι)
vs.
Population-based Methods (Πληθυσμιακές Μέθοδοι)





Αιτιοκρατική Βελ/ση (Gradient-based Methods)

Μέθοδος Απότομης Καθόδου:

$$\vec{b}^{new} = \vec{b}^{old} - \eta \nabla F(\vec{b}^{old})^T$$

$$b_n^{new} = b_n^{old} - \eta \frac{\delta F}{\delta b_n}, \quad i = 1, \dots, N$$

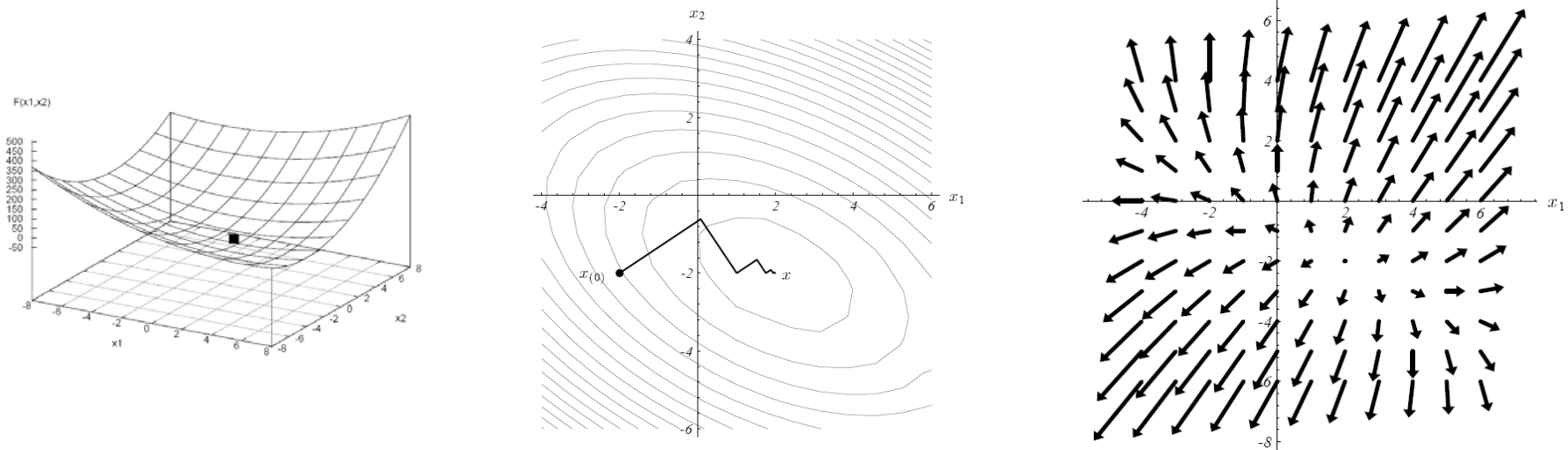
Newton Μέθοδοι:

$$\vec{b}^{new} = \vec{b}^{old} - \nabla^2 F(\vec{b}^{old})^{-1} \nabla F(\vec{b}^{old})^T$$

- Ακριβής ή προσεγγιστικός υπολογισμός του $\text{grad}(F)$. Ακρίβεια vs. Κόστος.
- Πολλοί διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού του $\text{grad}(F)$.
- Η συζυγής μέθοδος (adjoint method). Γιατί;



Αιτιοκρατική Βελ/ση (Gradient-based Methods)



- Κίνδυνος εγκλωβισμού σε τοπικά ακρότατα.
- Τελική/βέλτιστη λύση εξαρτώμενη από την αρχικοποίηση.
- Το «πάν» είναι ο υπολογισμός του $\text{Grad}(F)$.
- Δευτερεύων (αλλά όχι ασήμαντος) είναι ο τρόπος χρήσης του στη βελ/ση.



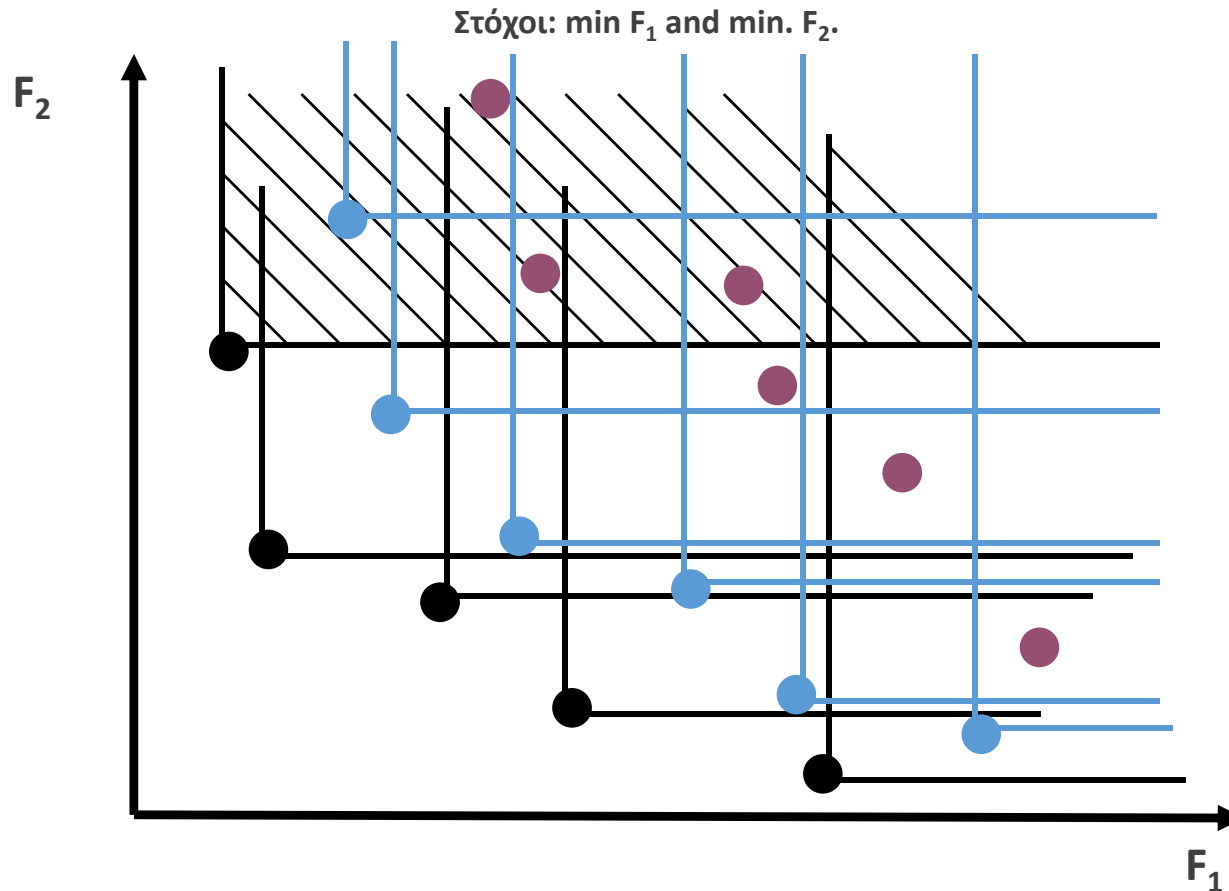
Possible Ways to Compute Grad(F)

- Finite Differences (FD)
- Complex Variable (CV) Method
- Direct Differentiation (DD)
- Automatic or Algorithmic Differentiation (AD)
- Adjoint Method (AM)

The computation of the gradient of the objective and/or constraint functions is the most important and costly part of a gradient-based optimization.



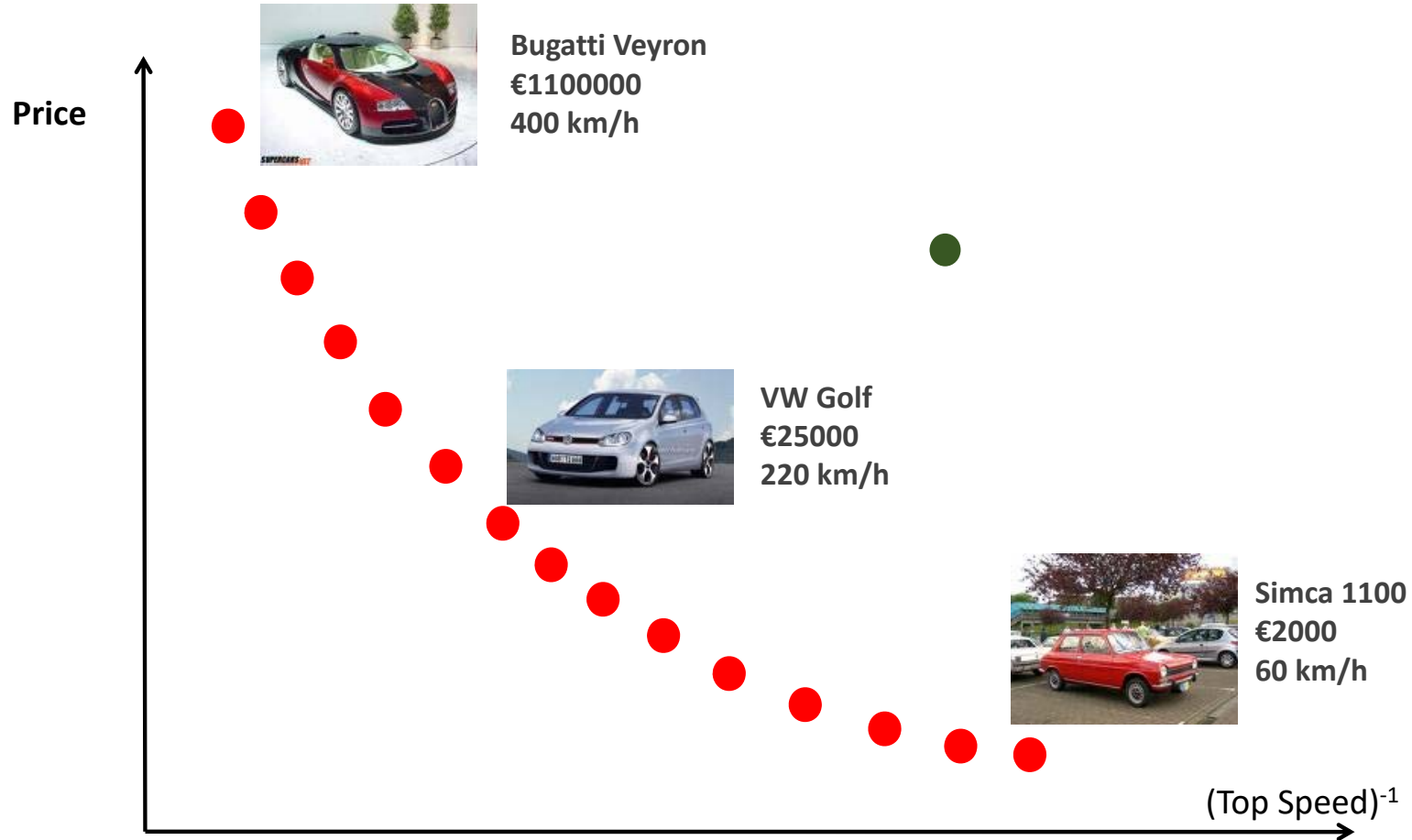
Multi-Objective Optimization (MOO) – The Pareto front



● Μέτωπο Pareto (Pareto front) ή μέτωπο μη-κυριαρχούμενων λύσεων (front of non-dominated solutions).

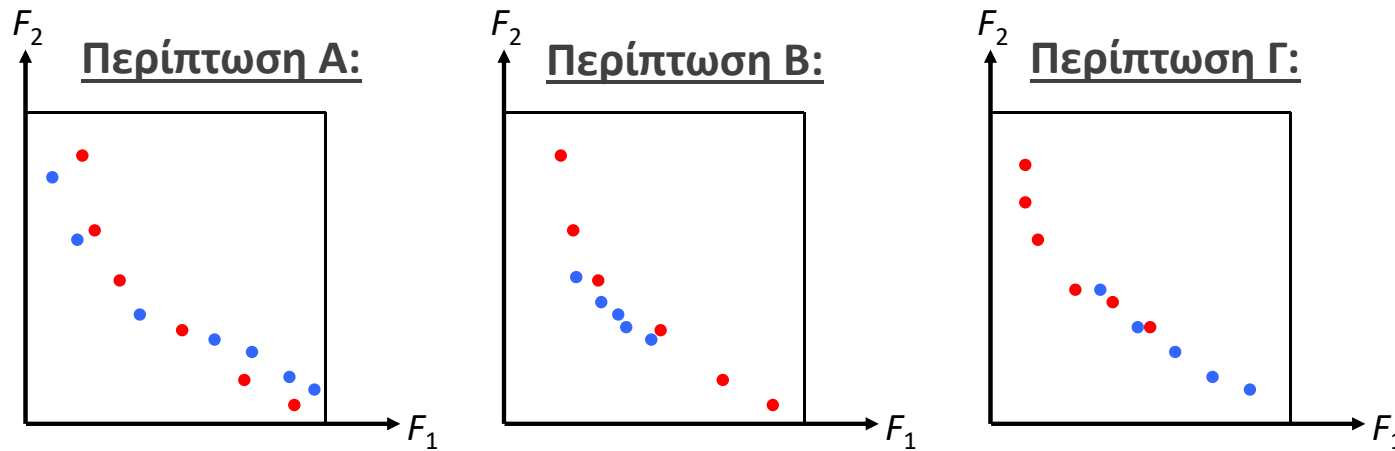


Multi-Objective Optimization (MOO) – The Pareto front





Σύγκριση Μετώπων Pareto



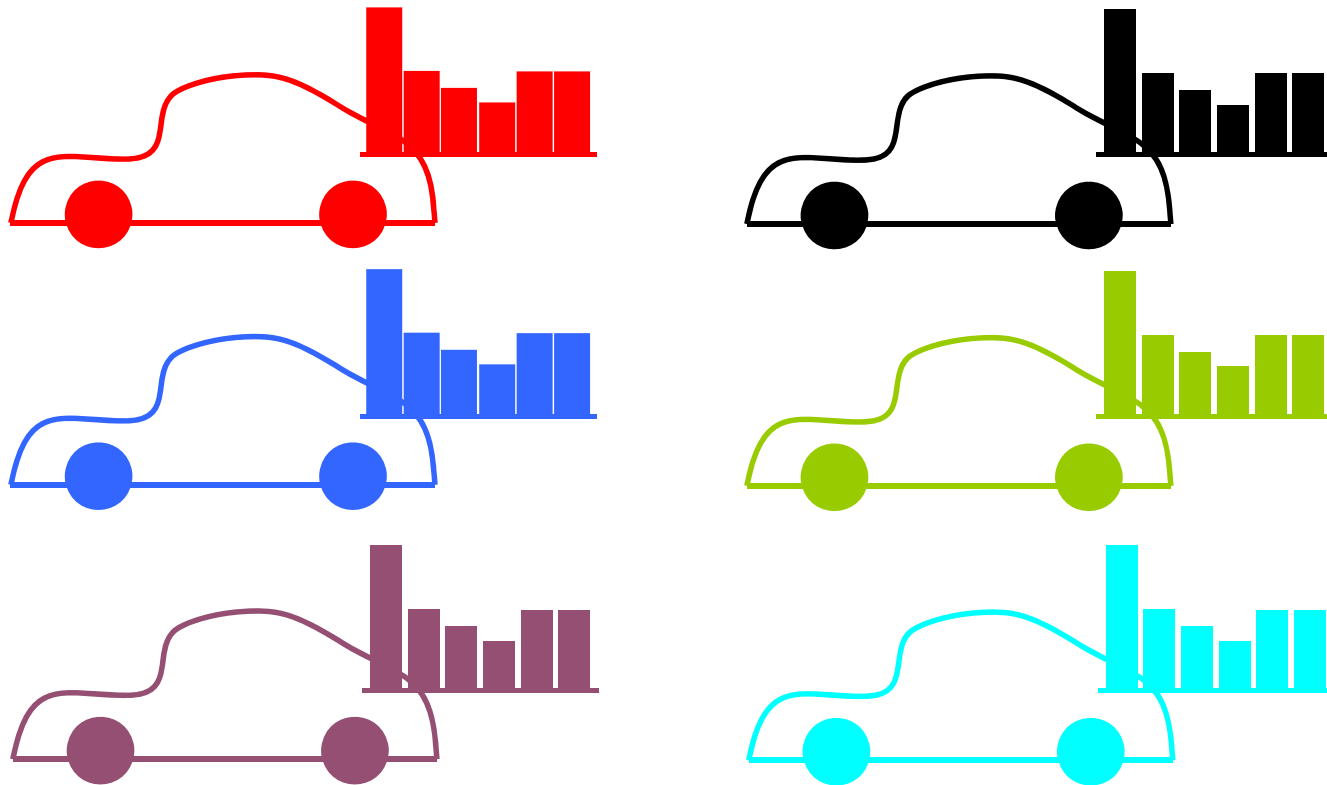
Σχόλια λ.χ. για την Περίπτωση Β:

- ▶ Δεν αποκλείεται κάποιος να είναι περισσότερο ευχαριστημένος με το μπλε μέτωπο και κάποιος άλλος με το κόκκινο μέτωπο!
- ▶ Αρχίστε να σκέφτεστε την ιδέα του «μετώπου των μετώπων Pareto» (αποτελείται από τις μη-κυριαρχούμενες λύσεις από όλα τα διαθέσιμα μέτωπα). Τότε θα ήταν ενδιαφέρον να καταγράφονταν ποιες και πόσες από τις λύσεις του τελικού μετώπου έδωσε κάθε μέθοδος.



Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms, EA)

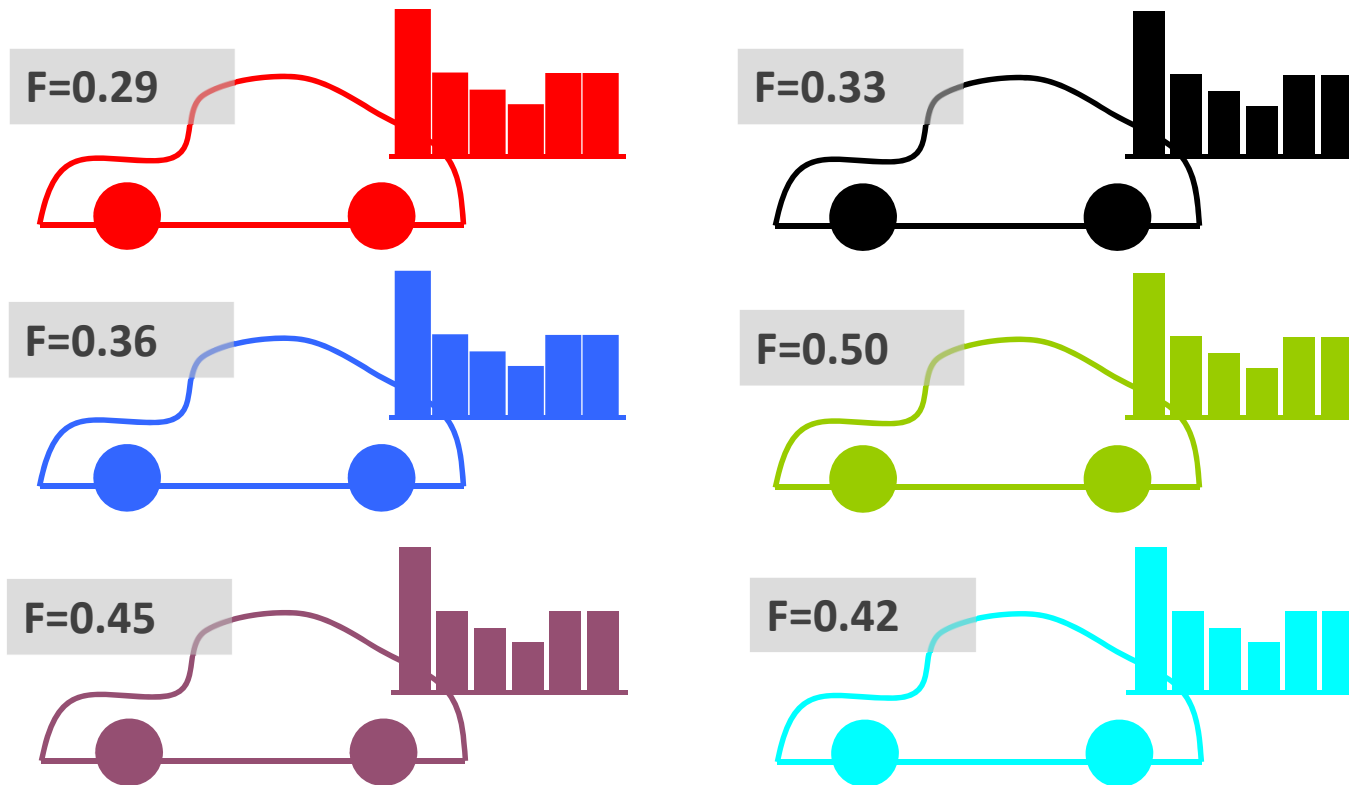
Πληθυσμιακή Μέθοδος - A Population-based Method:





Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms, EA)

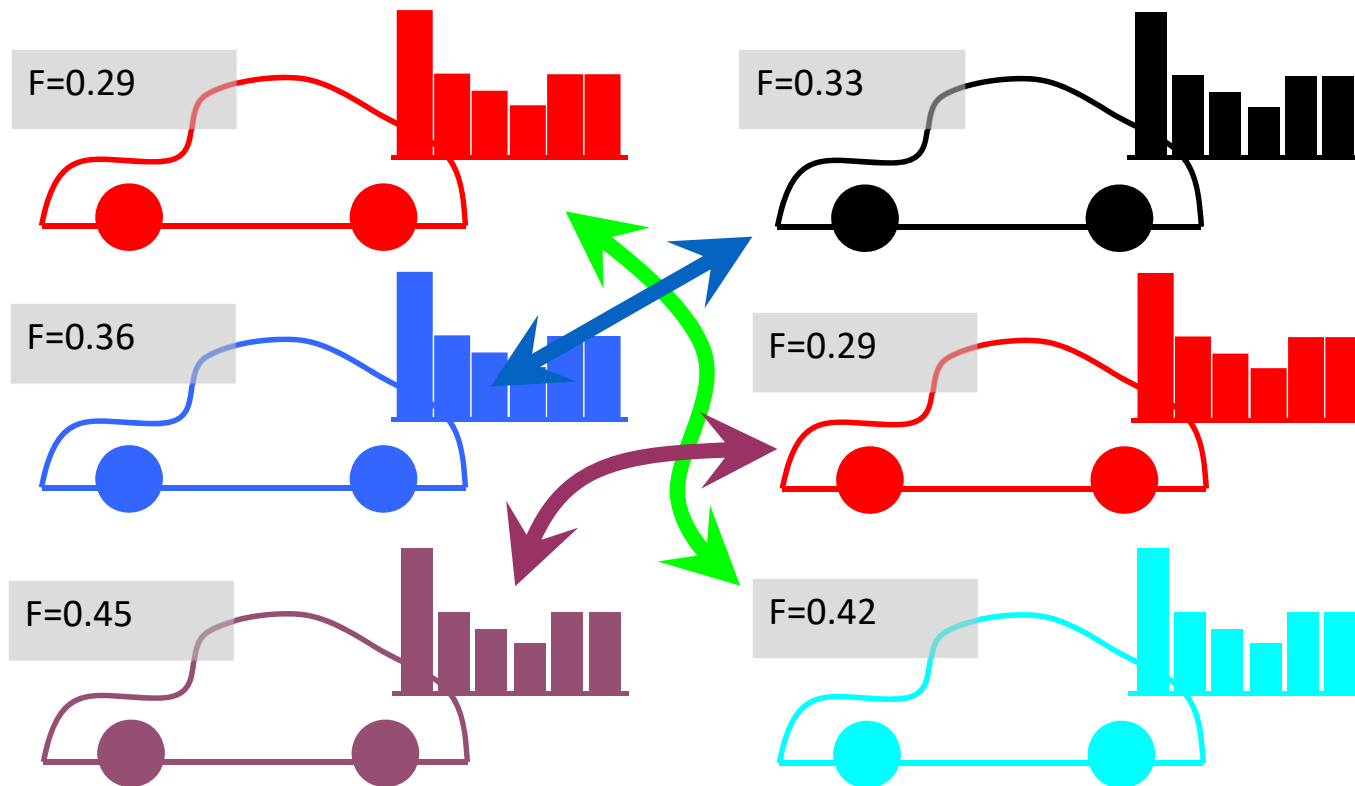
Αξιολόγηση Πληθυσμού - Evaluation of the Population (στόχος min. F):





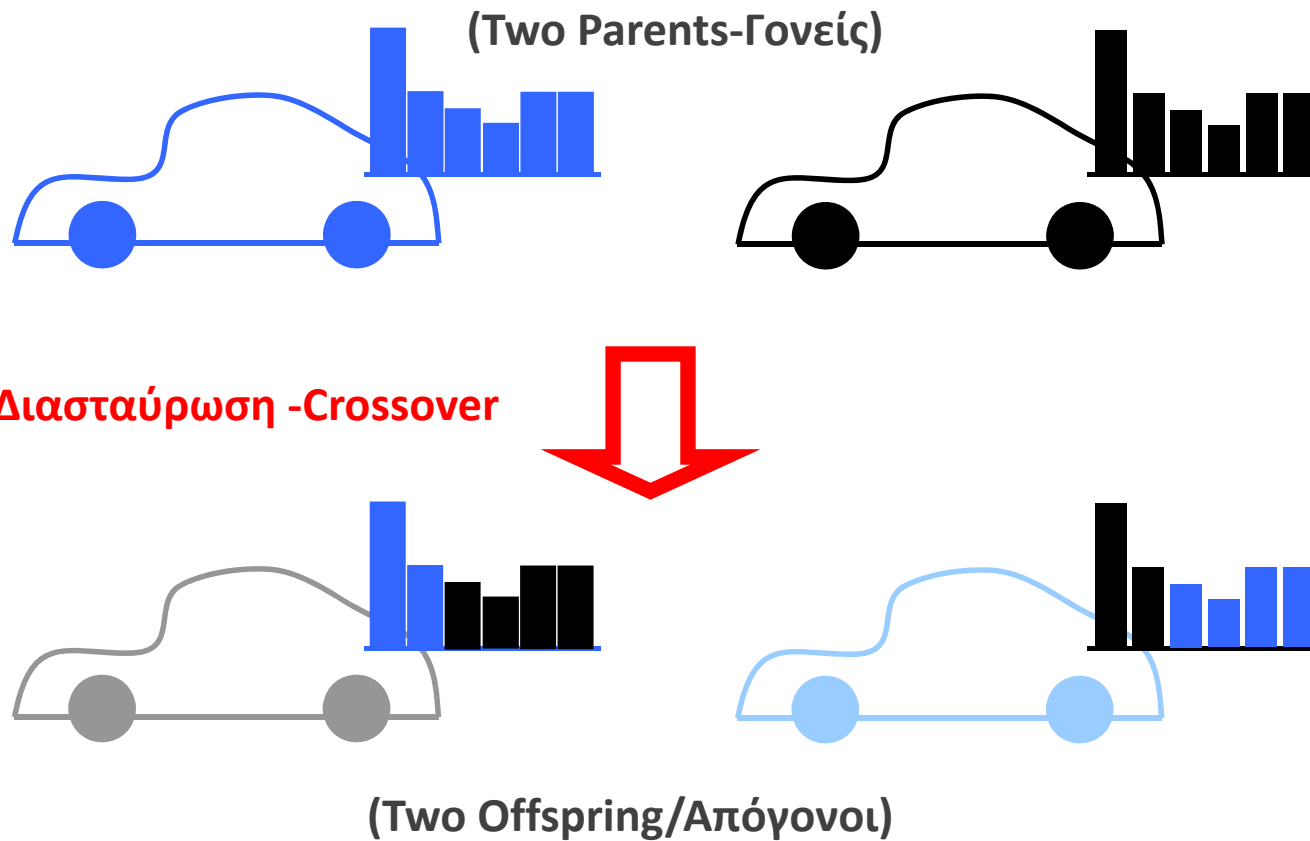
Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms, EA)

Επιλογή Γονέων - Parent Selection:



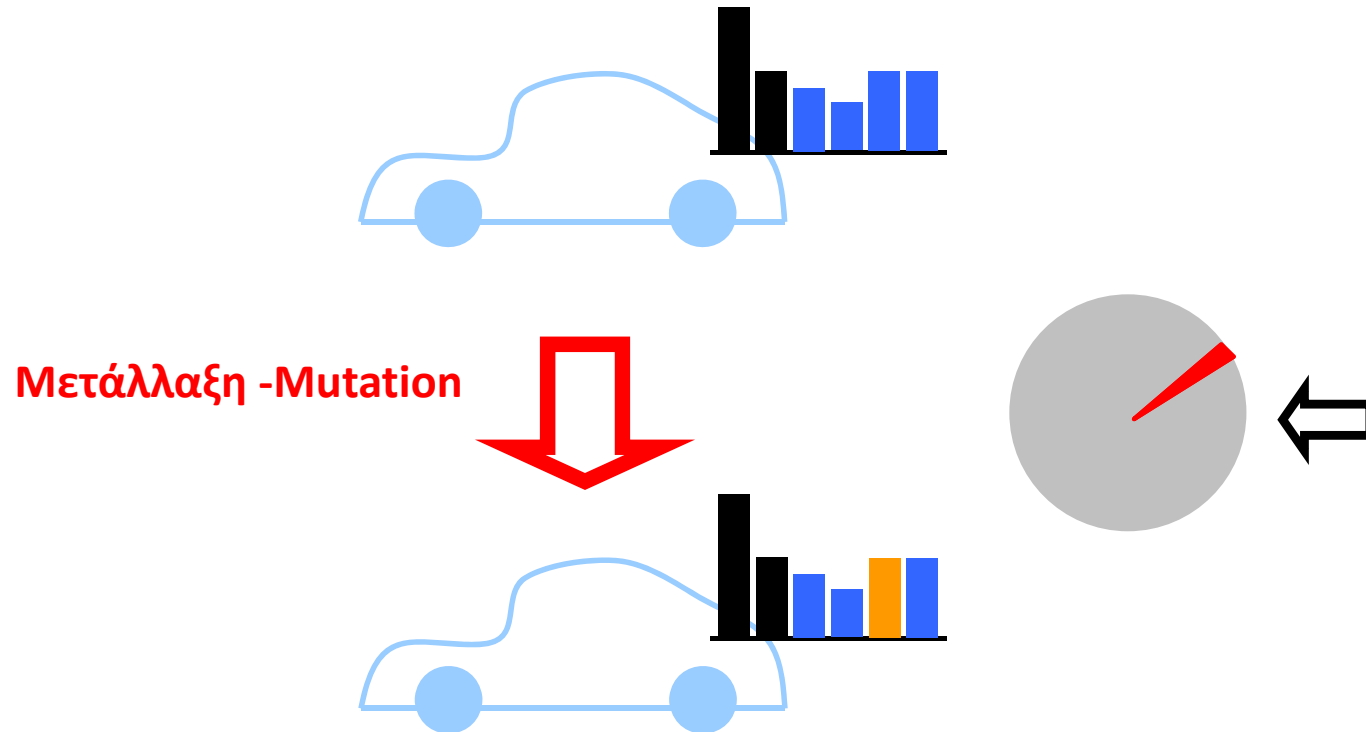


Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms, EA)





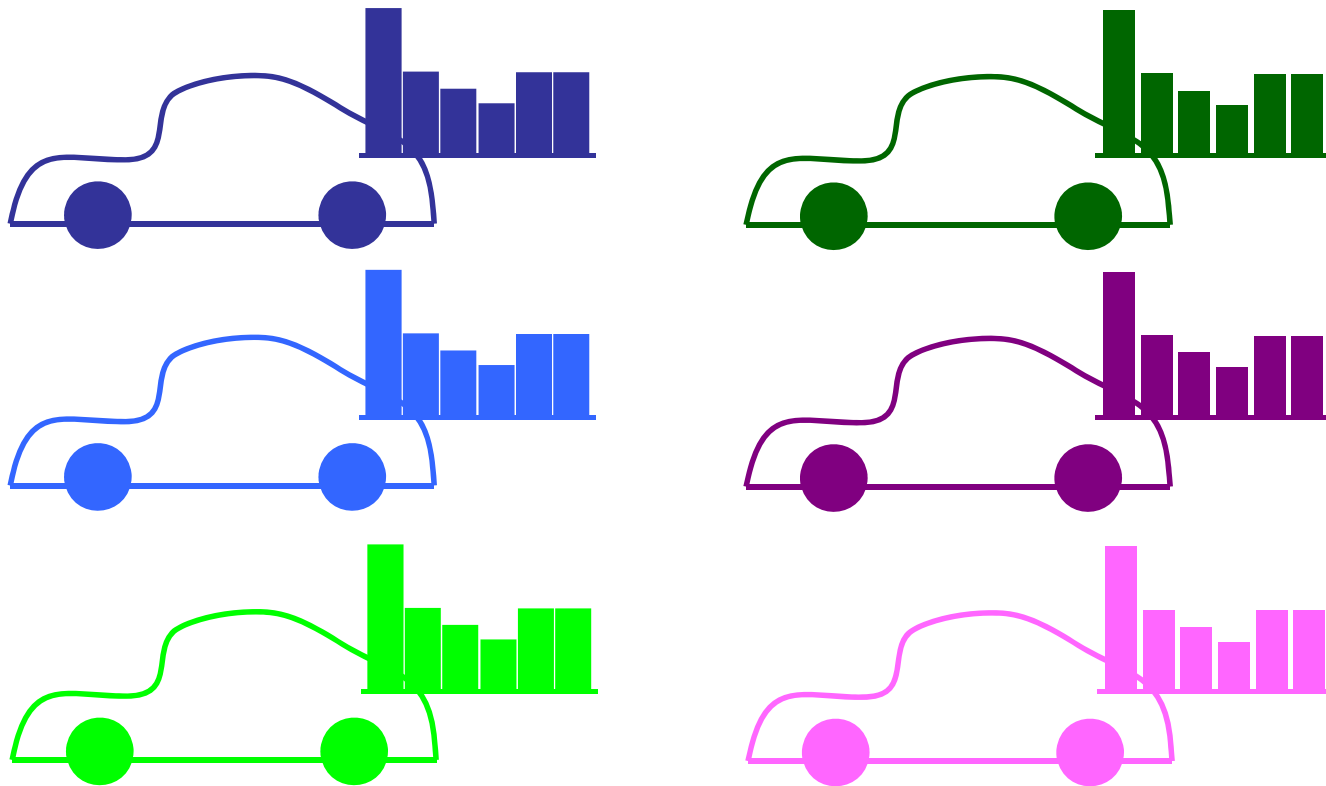
Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms, EA)





Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms, EA)

New Offspring Population:



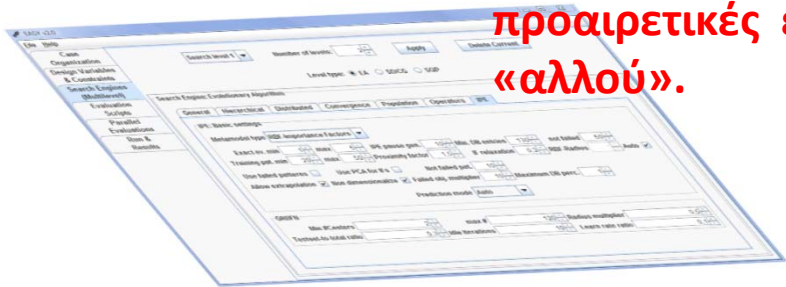
K.O.K.



Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms, EA)



Το λογισμικό E.A.SY. (Evolutionary Algorithm SYstem) υλοποιεί τους εξελικτικούς αλγορίθμους, είναι γενικό, το χρησιμοποιούν διάφορες πανεπιστημιακές ομάδες και εταιρίες στην Ελλάδα και το εξωτερικό. **Θα το πάρετε, θα το χρησιμοποιήσετε σε προαιρετικές εργασίες και μπορείτε να το χρησιμοποιήσετε και «αλλού».**



The Evolutionary Algorithm System
<http://velos0.ltt.mech.ntua.gr/EASY>
<http://147.102.55.162/EASY>

Οι τρεις πρώτοι βασικοί προγραμματιστές:

- Δρ. Αλέξης Γιώτης (1998-2003)
- Δρ. Μάριος Καρακάσης (2002-2006)
- Δρ. Γιάννης Καμπόλης (2005-2009)

Ουσιαστική συμμετοχή στις εμπειροχόμενες μεθόδους είχαν οι:

- Δρ. Χαρίκλεια Γεωργοπούλου (2005-2009)
- Δρ. Στέλιος Κυριάκου (2008-2013)

Από το 2009 την ευθύνη εξέλιξης και υποστήριξης του λογισμικού έχουν οι:

- Δρ. Βέρα Ασούτη
- Δρ. Δημήτρης Καψούλης

Δεκάδες διπλωματικές εργασίες, κυρίως από σπουδαστές που γνωρίστηκαν με τους EA σε αυτό το μάθημα έβαλαν ιδέες, έκαναν δοκιμές και έμμεσα συνεισέφεραν στο σημερινό EASY.



Other Gradient-Free Optimization Methods (other than EAs)

Stochastic Population-based Optimization/Search Methods:

- ◆ Genetic Algorithms (GA) & Evolution Strategies (ES)
- ◆ Particle Swarm Optimization (PSO)
- ◆ Ant-Colonies Optimization (ACO)
- ◆ Pity Beetle Algorithm
- ◆ Harmony Search
- ◆ ...



Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (EAs), Pros & Cons

EA: A population-based metaheuristic optimization inspired by the biological evolution. Candidate solutions act as population members for which the value of the cost or fitness function should be computed.

Pros:

- Readily accommodates any analysis-evaluation software (as a black-box).
- Is gradient-free.
- Computes Pareto fronts of non-dominated solutions, in MOO problems.
- Handles constraints (for instance, through penalties).
- Is amenable to parallelization (simultaneous independent evaluations).

Cons:

- Requires a great number of (costly/CFD or CAA) evaluations.

Computational Cost: Measured in terms of evaluations on the *Problem Specific Model* (PSM; here, the CFD code), not in terms of generations.



Industrial Use of EAs

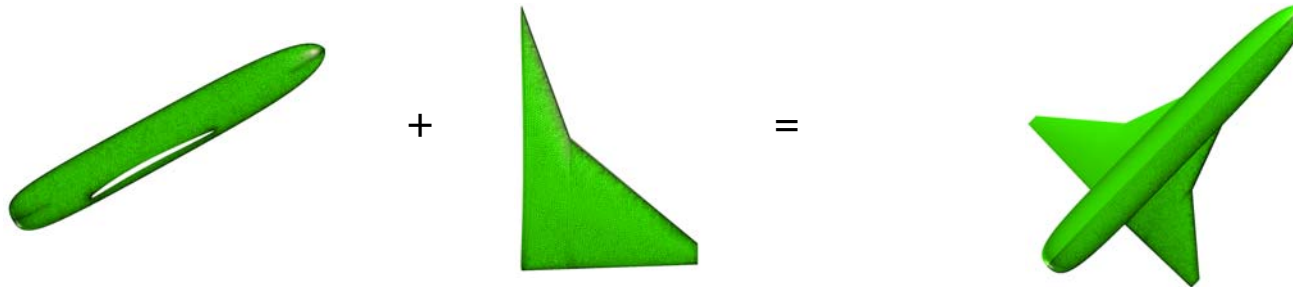
Requirements for the penetration of EAs in the industry:

- ◆ Find the optimal solution(s) with less (CFD-CAA S/W based) evaluations:
 - Better evolution operators or carefully tuned parameters
 - Distributed search
 - Replace calls to the costly/exact evaluation tool (PSM, for instance CFD or CAA) with calls to cheaper/less-accurate surrogate evaluation models (metamodels)
 - Dimensionality reduction (curse of dimensionality)
 - Hierarchical/multilevel search.
- ◆ Reduce the wall-clock time of the optimization:
 - Parallelization.
 - Overcoming the generation synchronization barrier (asynchronous search).
- ◆ Combine some (all?) of the above.

See "Future" Lectures



Design of a Reusable Launch Vehicle (RLV)



Objective 1: Minimum shifting of the aerodynamic center; minimum control mechanisms.

Objective 2: Minimum pitching moment at transonic flight; overcoming the drawback of high-performance arrow wings, for stability purposes.

Objective 3: Minimum drag at transonic flight; the flight is transonic for major part of the range; maximum range.

Objective 4: Maximum lift at subsonic flight; runaway distance to be minimized.

$$F_1 = \left| C_{Mp}^{\text{supersonic}} - C_{Mp}^{\text{transonic}} \right|$$

$$F_2 = \left| C_{Mp}^{\text{transonic}} \right|$$

$$F_3 = C_D^{\text{transonic}}$$

$$F_4 = C_L^{\text{subsonic}}$$

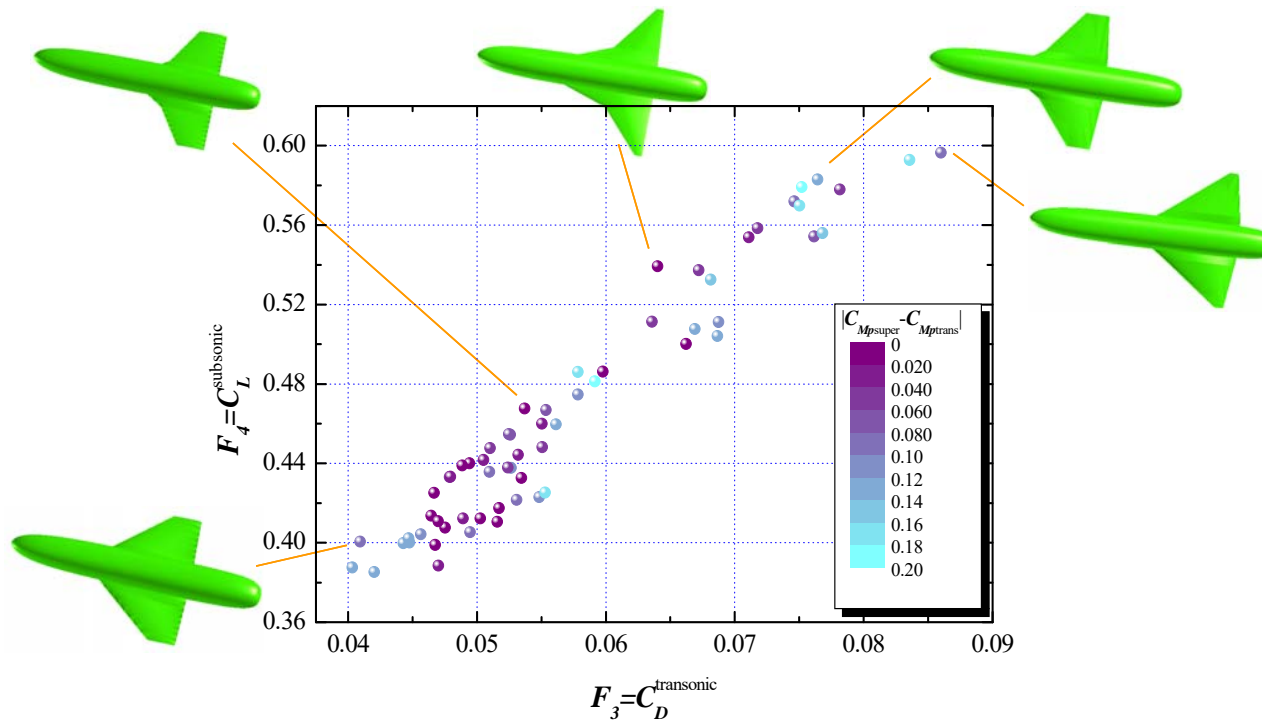
In collaboration with



TOHOKU
UNIVERSITY



Design of a Reusable Launch Vehicle (RLV) EA



Το να σχεδιάζουμε μέτωπα Pareto για προβλήματα με πάνω από 3 στόχους (και να μπορούμε να καταλαβαίνουμε το τι βλέπουμε) είναι ένα πολύ ενδιαφέρον πρόβλημα που δέχεται έξυπνες λύσεις.

In collaboration with



TOHOKU UNIVERSITY

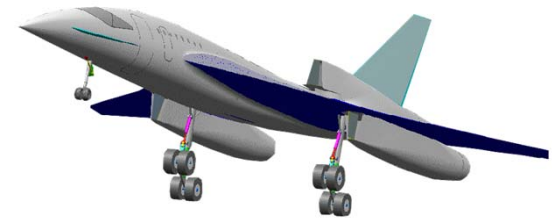
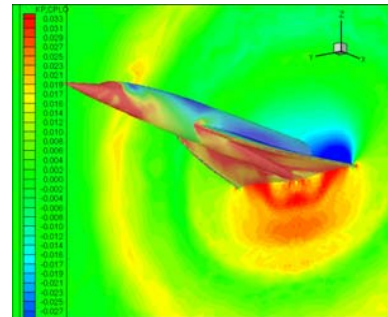


Design of a Hypersonic Business Jet (HISAC)

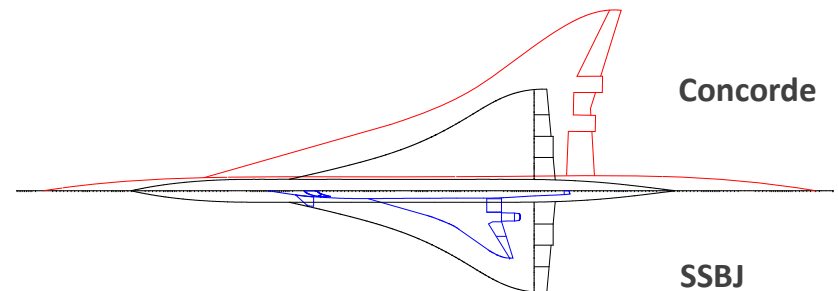


Environmentally Friendly High Speed Aircraft

Design of a new small size commercial supersonic transport aircraft:
 Environmental constraints: Noise, sonic boom, emissions
 Economically viable (range, time reduction, comfort,...)



Environmental objectives	
Noise	ICAO Chapter 4 less 8dB
NOx emissions	High altitude: less than 10g per kg fuel burnt (5g in the long term) At landing and take-off: comparable to subsonic aircraft
Sonic boom	less than 15 Pa (tbc) differential pressure (overland flight)
Commercial characteristics objectives	
Size of cabin	8 to 16 passengers
Speed	transonic to M 1.8
Range	3500 to 4500 nm (~6000 to ~9000 km)
Airfield length	7000 ft





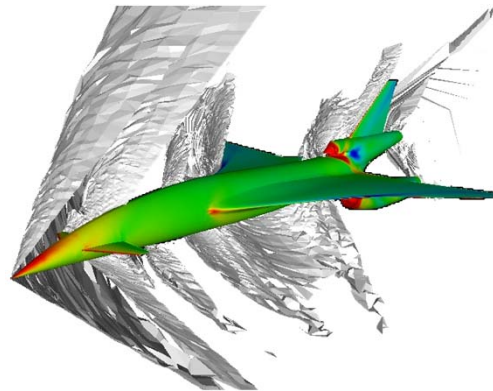
Design of a Hypersonic Business Jet (HISAC)



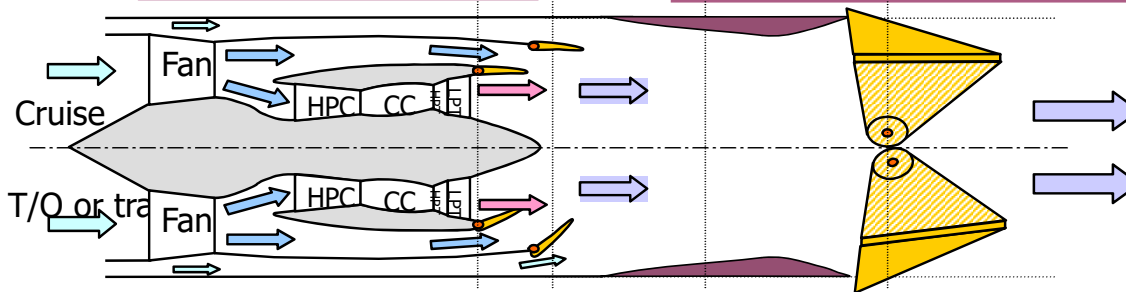
Environmentally Friendly High Speed Aircraft



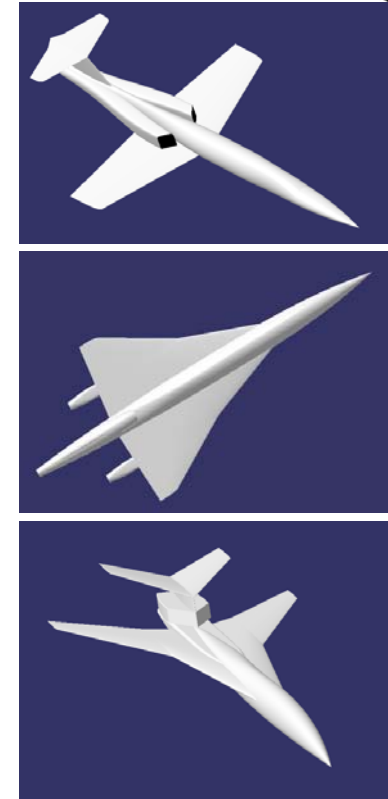
Noise at take-off



Sonic boom-Overland flight



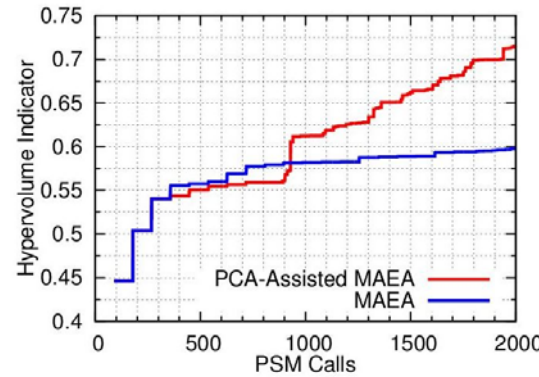
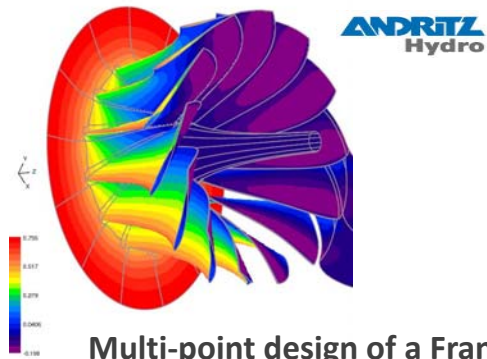
Engine Noise (*variable cycle concept*)



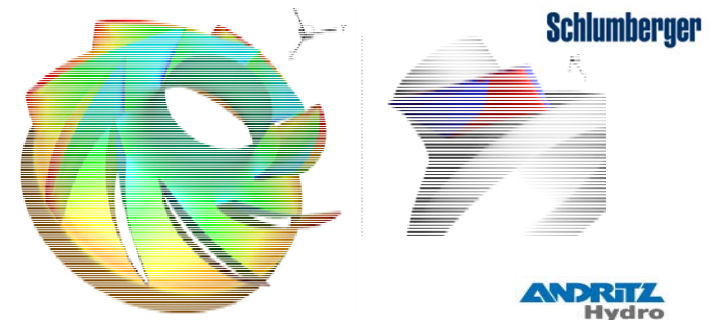
Possible Designs



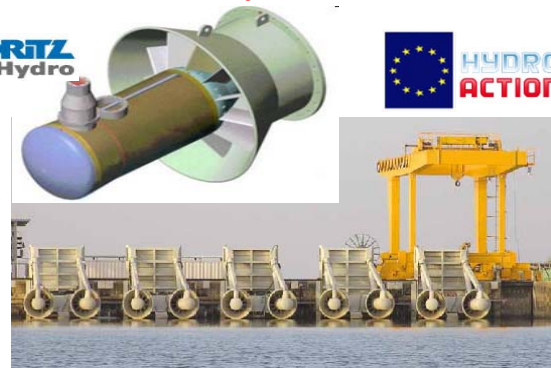
EASY : Applications in Hydraulic Turbomachines



Design of an impeller of a submersible oil drilling pump, with better performance.



Multi-point design of a Francis runner with **372 design variables**. Due to the extremely high problem dimension, the use **PCA-Assisted Metamodels and Evolution Operators in a MAEA** is absolutely necessary.



In collaboration with Andritz-Hydro, **EASY** was used to design the Hydromatrix®. This is a factory-assembled grid/matrix of small axial-flow, fixed blade type turbine generator units, suitable for low head hydropower sites.



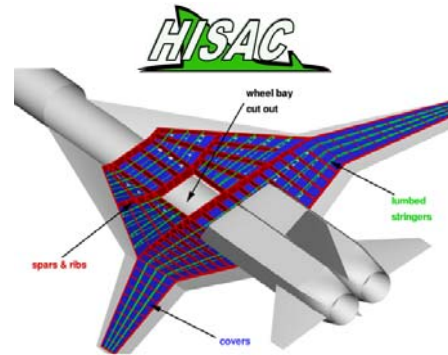
Design of a propeller turbine runner- guide vane stage.

The EASY (Evolutionary Algorithm System) Platform web page <http://velos0.ltt.mech.ntua.gr/EASY>



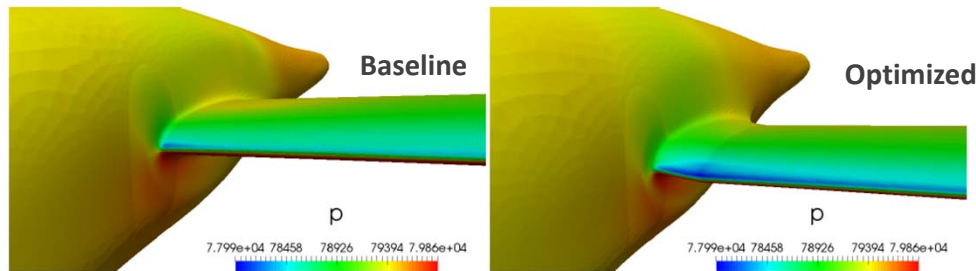
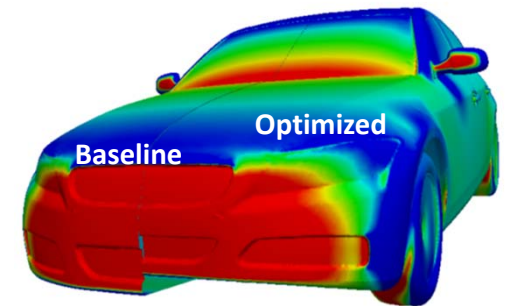
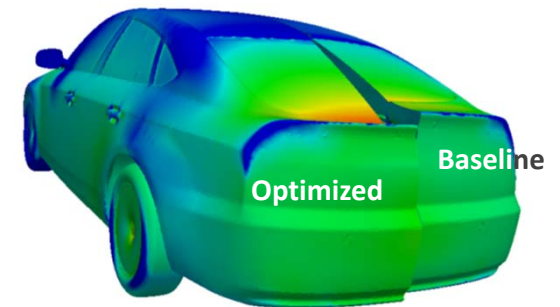
EASY : Other Applications in External Aerodynamics

Optimization of an ultra light aircraft provided by Pipistrel for minimum drag coefficient.



Multidisciplinary optimization of a Supersonic Business Jet. Coupling of EASY with the CFD/CSM tools of DLR.

Optimization of a car model for min. drag.

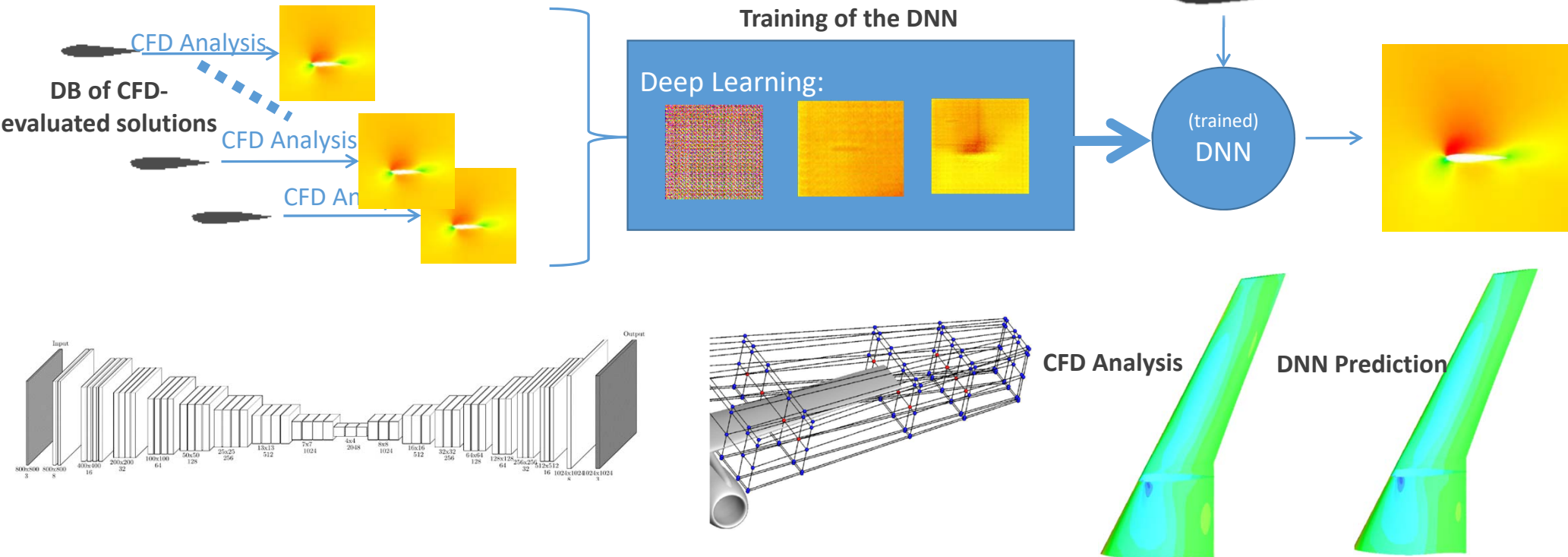


The EASY (Evolutionary Algorithm System) Platform web page <http://velos0.ltt.mech.ntua.gr/EASY>



Use of Deep Neural Networks in CFD-based Analysis/Optimization

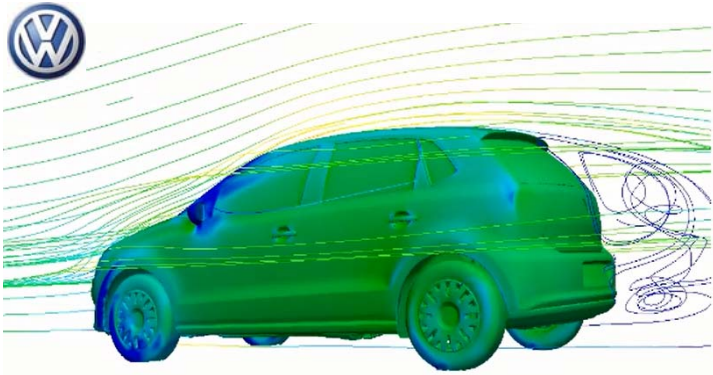
Usage



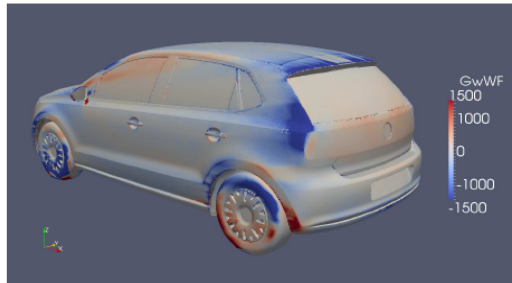
Purpose of this study is to build inexpensive surrogate evaluation models replicating the expensive CFD tools, for use in optimization loops etc, as low-fidelity models. **Python 3.6** used for programming. **TensorFlow** (developed by the Google Brain team) for implementation of the networks layers.



Gradient (Adjoint)-Based Designs for the Automotive Industry

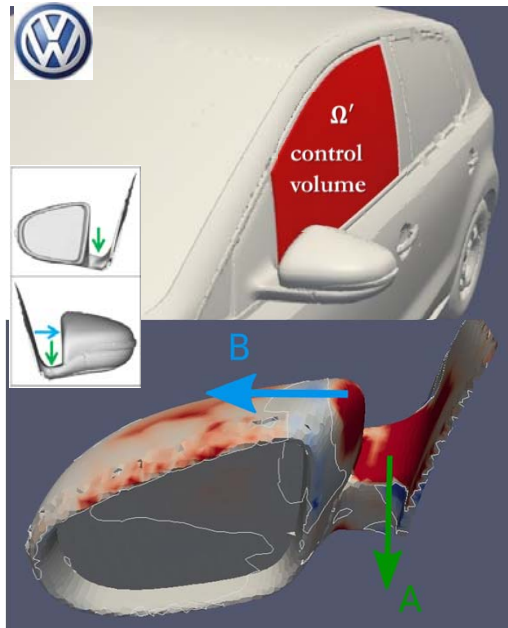


Pressure distribution and streamlines .

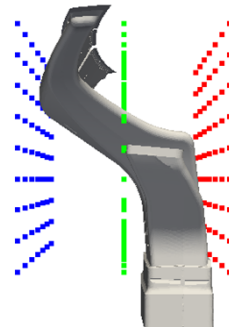


Downforce sensitivities of the VW Polo car, computed by the PCOpt/NTUA adjoint code. **Red** : move inwards; **blue** : outwards for **better traction** to the ground.

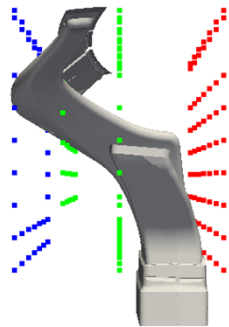
Adjoint-based shape optimization of the VW Polo **side mirror** in order to minimize the **noise** perceived by the driver.



The shape optimization of the defroster nozzle, part of the **HVAC** unit of TOYOTA YARIS, led to an improved defrosting performance of the vehicle. The optimized geometry complies with manufacturing and topological constraints, was manufactured and submitted to a defrost test which proved a **reduction of 15%** windshield defrost time.



Initial



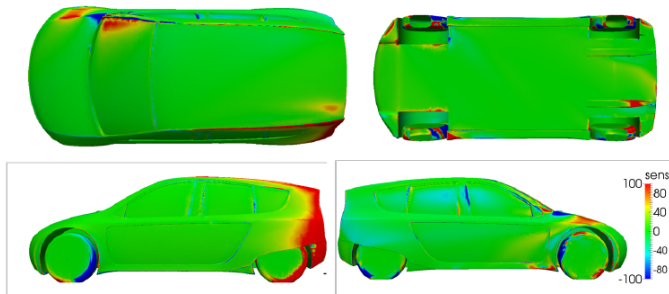
Optimized



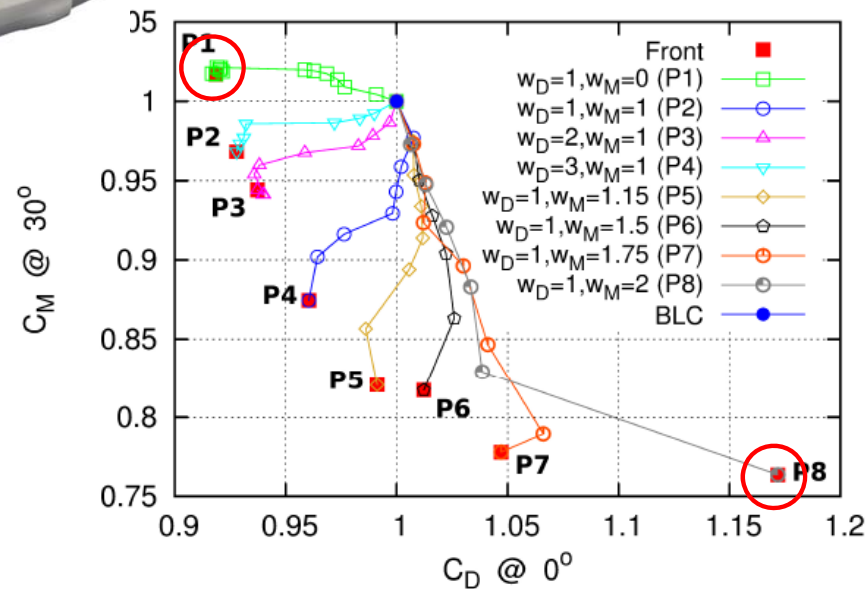
Gradient (Adjoint)-Based Designs for the Automotive Industry



$$F = w_D C_D^{0\text{deg}} + w_M C_M^{30\text{deg}}$$



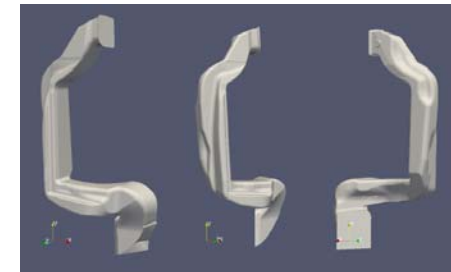
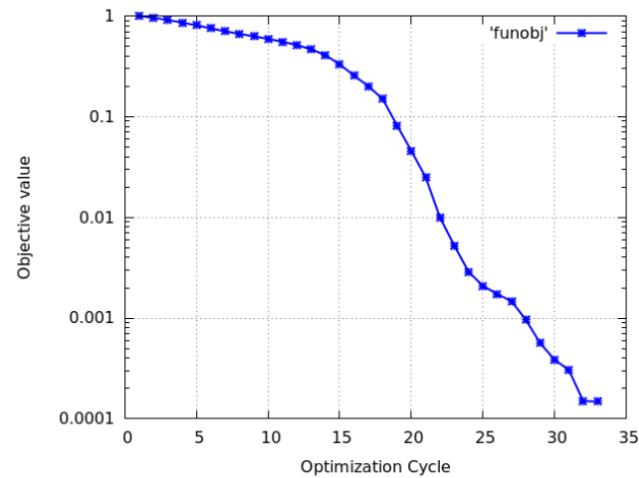
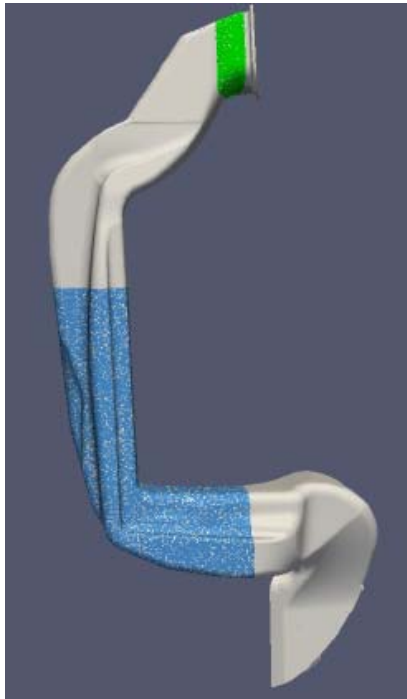
Sensitivity maps on the Toyota ultra-weight concept car surface. Objective function: moment coefficient at 30 deg. cross-wind.



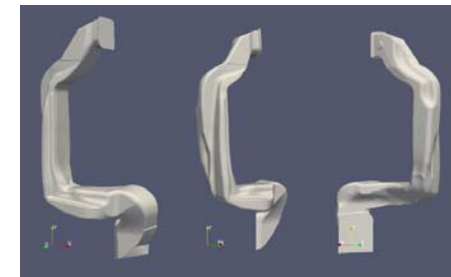
Pareto front resulting from several optimizations using the adjoint method of PCOpt/NTUA (OpenFOAM-based). Single-objective runs aiming at the minimization of a linear combination of the drag@0 deg. and moment@30deg.



Gradient (Adjoint)-Based Designs for the Automotive Industry



Initial



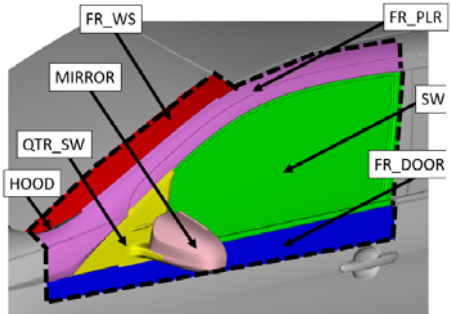
Optimized

Noise minimization by reshaping-optimizing the HVAC duct of a BMW passenger car.
Από τις Διπλ.Εργασίες (2018-19) και Internship στην BMW των Κ. Καρώνη, Α. Μαργέτη.

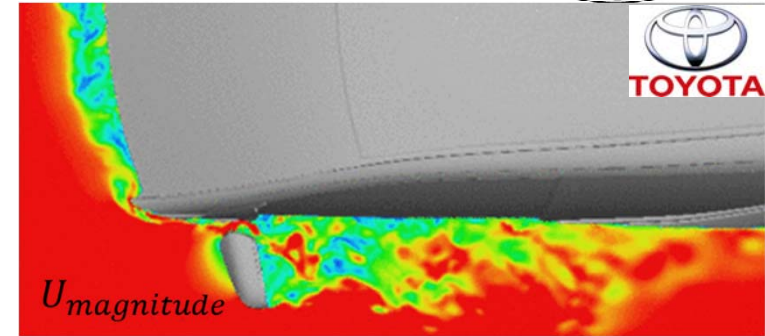
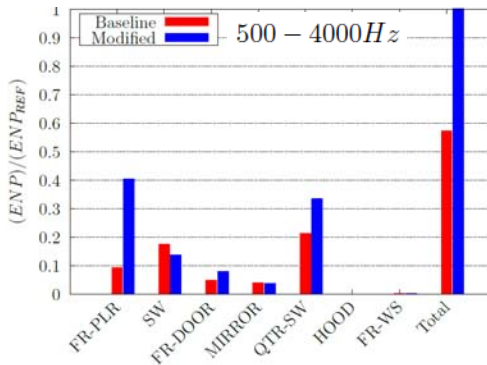




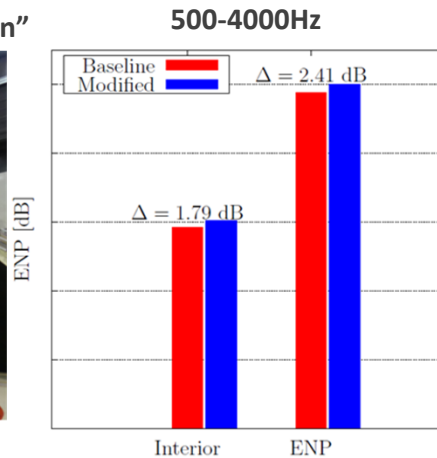
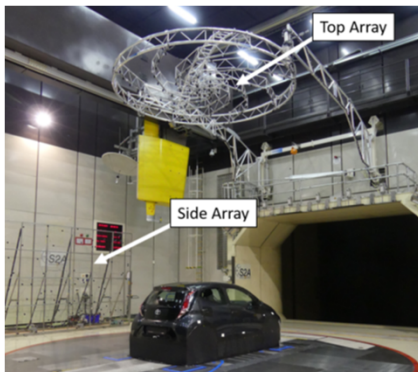
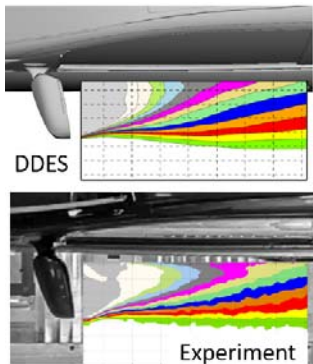
Aeroacoustic Noise Evaluation of a Toyota Passenger Car



Contribution of each part of the car to the total noise index



Aeroacoustic Correlation/ "Validation"

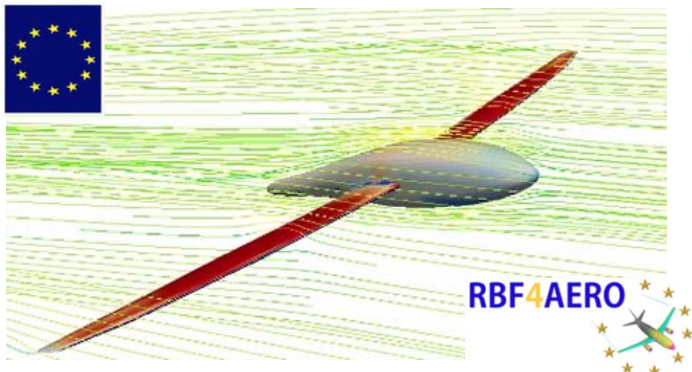
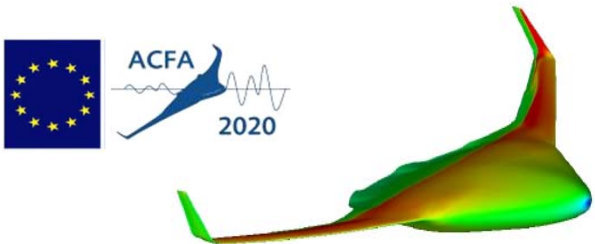


Aeroacoustic Noise Evaluation of a TOYOTA passenger car (AYGO). An aeroacoustic method was implemented based on CDF Tools of PCOpt/NTUA in the OpenFOAM environment and validated with experimental measurements in the GIE S2A semi-anechoic windtunnel, France. Project carried out during the internship of A. Spyropoulos in TME, Brussels (2018). Advisor: Mr. Antoine Delacroix (VPE/HVAC Team, TME). Next step: Adjoint-based optimization!

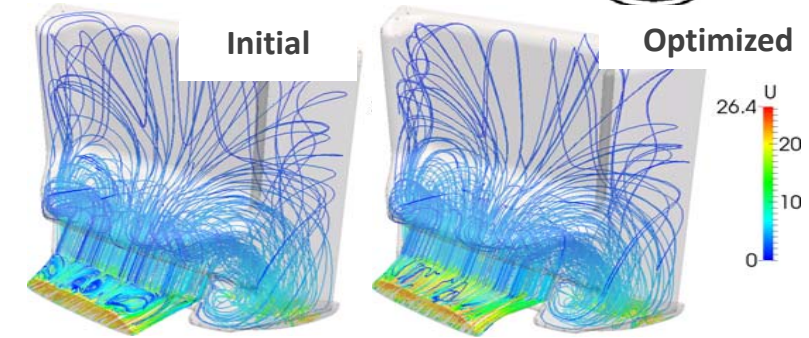


Aircraft Analysis/Design with S/W Developed by the PCOpt/NTUA

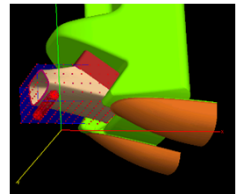
Aerodynamic-aeroelastic analysis of a Blended Wing Body (BWB) 800-seat aircraft.



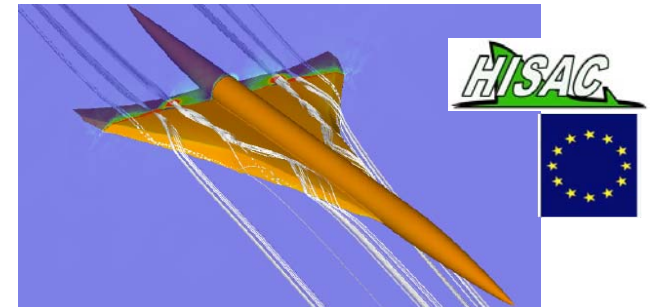
Flow and adjoint-based sensitivity map for a **glider**. For **drag minimization, red** : move inwards, **blue** outwards.



Optimization of the **cooling system of the motor of an electrical plane**, designed and brought to market by Pipistrel (Slovenia), using the adjoint method of PCOpt/NTUA.



Aerodynamic analysis (**vortex breakdown**) of a **18-passenger Supersonic Business Jet (SBJ)**, designed as a potential Concorde successor.





Δυνατότητα Internship σε Ευρωπαϊκές Βιομηχανίες

Ανάλογα με τις προκύπτουσες κάθε χρονιά ευκαιρίες, υπάρχει η δυνατότητα (συνήθως μετά τη λήξη του μαθήματος), σπουδαστές που το παρακολούθησαν να πραγματοποιούν internship σε ευρωπαϊκές βιομηχανίες που συνεργάζονται με την ομάδα μας και (στην πλειονότητά τους χρησιμοποιούν μεθόδους και λογισμικό μας):

- BMW (Μόναχο): Κ. Καρώνη (2018), Α. Μαργέτης (2019)
- TOYOTA MOTOR EUROPE (Βρυξέλλες): Π. Σιμάτος (2014), Λ. Γερμανού (2015), Μ. Παναγιωτίδου (2016), Π. Κουτσαντώνης (2017), Γ. Μπλέτσος (2017), Α. Σπυρόπουλος (2018), Λ. Κλιάφας (2019), Κ. Σάρρας (2019), Α. Λιόση (2019)
- ANDRITZ HYDRO (Linz): αρκετοί, οι τρεις τελευταίοι Γ. Νυκτερή (2016), Μ. Ζορμπά (2017), Η. Τσόπελας (2018)
- ROLLS-ROYCE (RRD) (Βερολίνο): Δ. Χατζηνικολάου (2019)



Τα «τυπικά» του μαθήματος

- Μοιράζεται βιβλίο του διδάσκοντος που υπερκαλύπτει την ύλη.
- Μοιράζεται σειρά θεμάτων (homeworks, HW) για επίλυση από τους σπουδαστές. Αυτά συμμετέχουν στον τελικό βαθμό μέχρι ποσοστού 50%. Κάθε θέμα βαθμολογείται πάντα με Δέκα (10) αλλά καθορίζεται το ποσοστό που συμμετέχει στον τελικό βαθμό ανάλογα με την ποιότητα και ποσότητα δουλειάς που έγινε.
- Τα υπολογιστικά HW, στη min. εκδοχή τους απαιτούν υλοποιούνται με λογισμικό που μοιράζεται και χρησιμοποιείται με καμία ή ελάχιστες παρεμβάσεις σε αυτό.
- Σε κάθε HW ορίζεται το ελάχιστο ζητούμενο (βλ. προηγ. bullet) και δίνονται 2-3 προτάσεις για περαιτέρω εμβάθυνση κα εργασία, με αντίστοιχη «ανταμοιβή».
- Μοιράζεται βασικό λογισμικό βελτιστοποίησης (ο EASY κλπ).
- Τέλος, επιλύονται στον πίνακα 1-2 «μεγάλες ασκήσεις» (και, αν πρέπει, λύνονται με HY στην τάξη). Πιθανή σύνδεση με θέμα εξετάσεων, κατόπιν συμφωνίας εκ των προτέρων με τους σπουδαστές).
- Τμήμα της εξέτασης (λχ στους ΕΑ) μπορεί να υποκατασταθεί με HW.