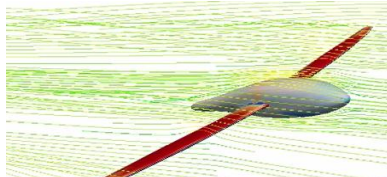
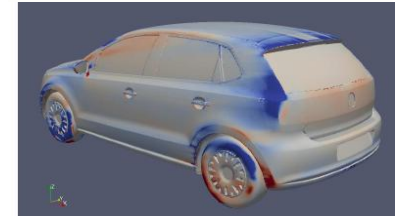


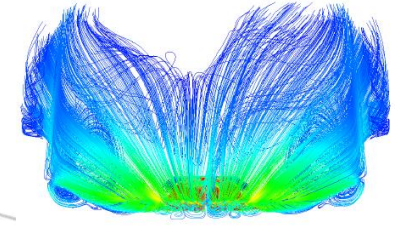
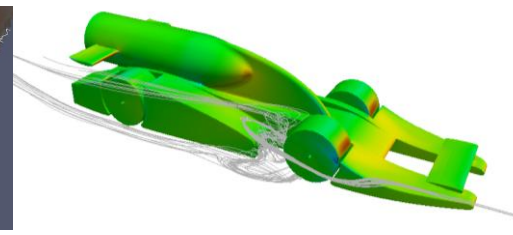
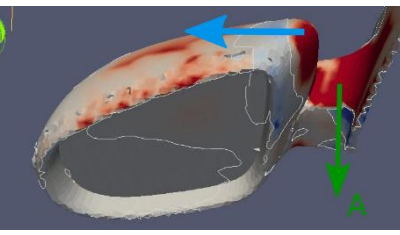
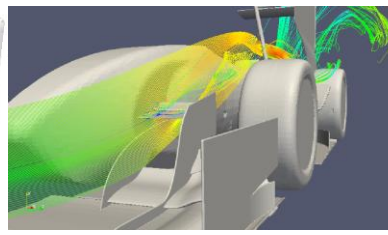
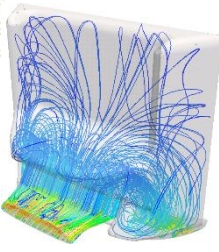
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Εργ. Θερμικών Στροβιλομηχανών
Μονάδα Παράλληλης Υπολογιστικής
Ρευστοδυναμικής & Βελτιστοποίησης

National Technical University of Athens
School of Mechanical Engineering
Lab. Of Thermal Turbomachines
Parallel CFD & Optimization Unit



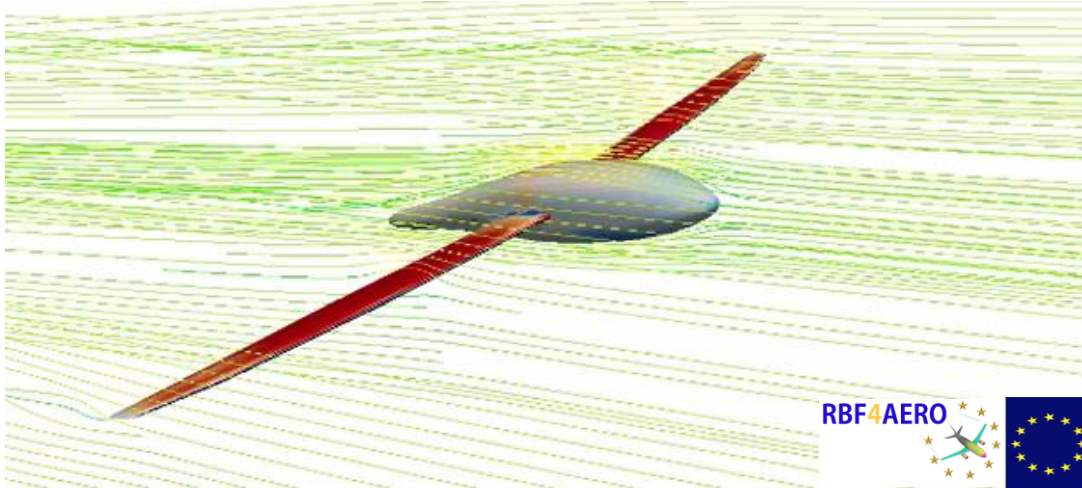
Κ. Γιαννάκογλου, Καθηγητής ΕΜΠ
kgianna@central.ntua.gr

K.C. Giannakoglou, Professor NTUA
kgianna@central.ntua.gr



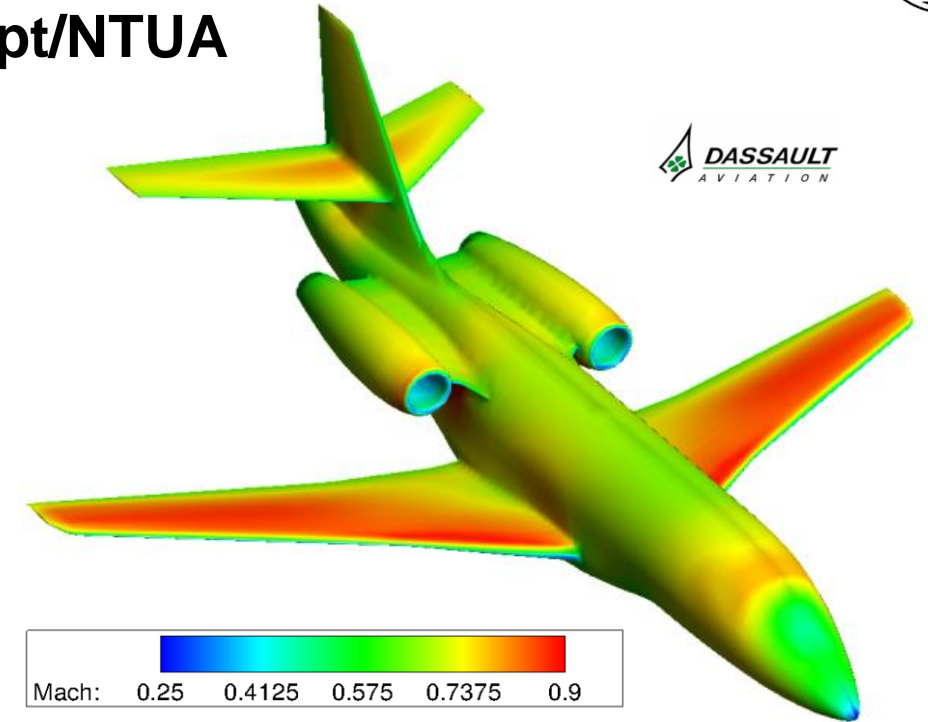
Slide Show – 15 slides - ~ 3 minutes

Προλέξεις Ροών με Λογισμικό της ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ Flow Studies with S/W Developed by the PCOpt/NTUA



Πρόλεξη ροής γύρω από **ανεμόπτερο** και σχεδιασμός **χάρτη ευαισθησίας**, με τη χρήση της συζυγούς μεθόδου. Από τον υπολογισμό προέκυψε ότι για να **μειωθεί** η **αντίσταση** του ανεμόπτερου πρέπει οι περιοχές με **κόκκινο** να μετατοπιστούν προς τα μέσα, ενώ αυτές με **μπλε** προς τα έξω. Οι περιοχές με **γκρίζο** δεν έχουν πρακτικά συνεισφορά.

Flow and adjoint-based sensitivity map for a **glider**. For **drag minimization**, **red** areas should move inwards, **blue** outwards, while **grey** areas practically do not contribute at all.



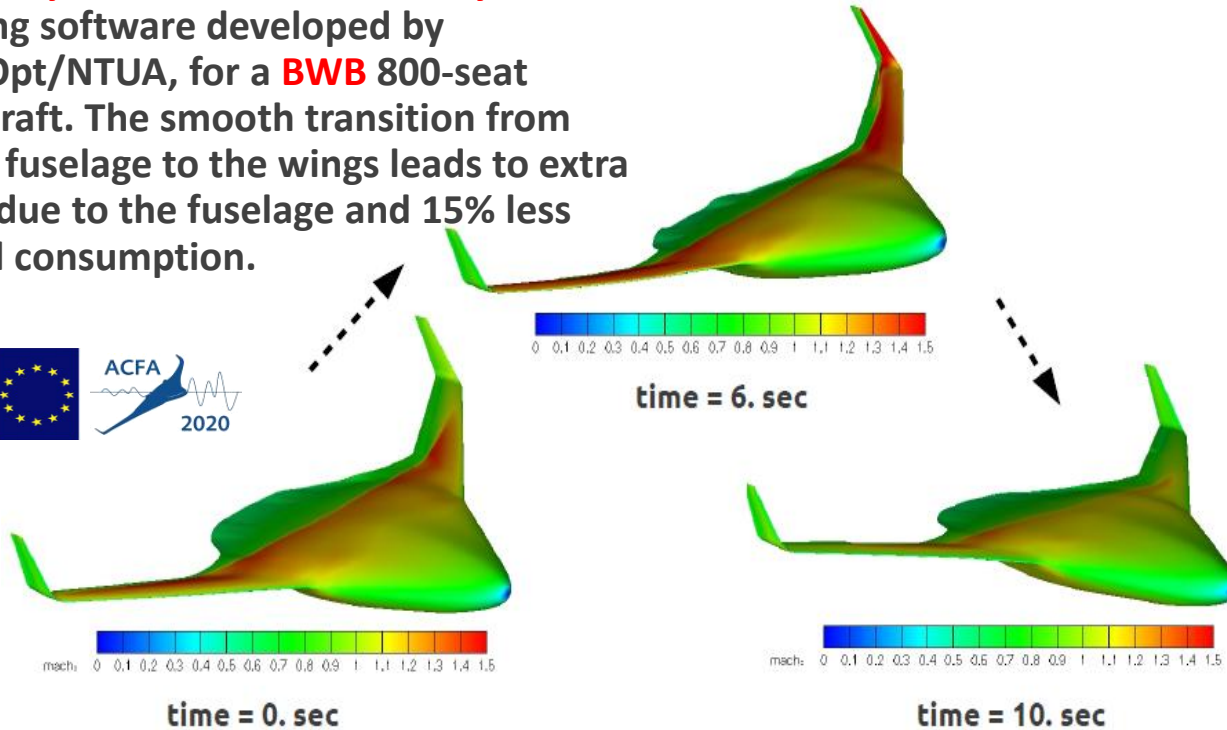
Πρόλεξη της ροής γύρω από το **αεροσκάφος** Falcon με χρήση λογισμικού που αναπτύσσεται στη ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ και τρέχει σε συστοιχίες επεξεργαστών καρτών γραφικών. Πεδίο του αριθμού Mach πάνω στην επιφάνεια του αεροσκάφους.

Flow over a Falcon **aircraft**. Mach number distribution over the aircraft body predicted by the flow solver of PCOpt/NTUA, running on clusters of GPUs.

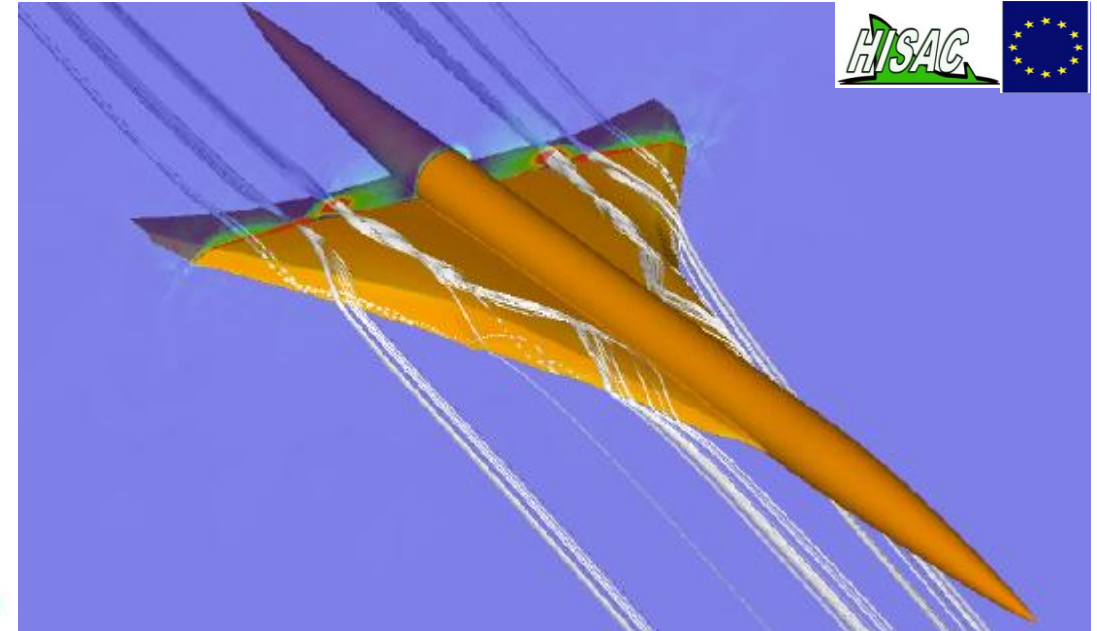
Προλέξεις Ροών με Λογισμικό της ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ Flow Studies with S/W Developed by the PCOpt/NTUA

Aerodynamic-aeroelastic analysis

using software developed by PCOpt/NTUA, for a **BWB** 800-seat aircraft. The smooth transition from the fuselage to the wings leads to extra lift due to the fuselage and 15% less fuel consumption.



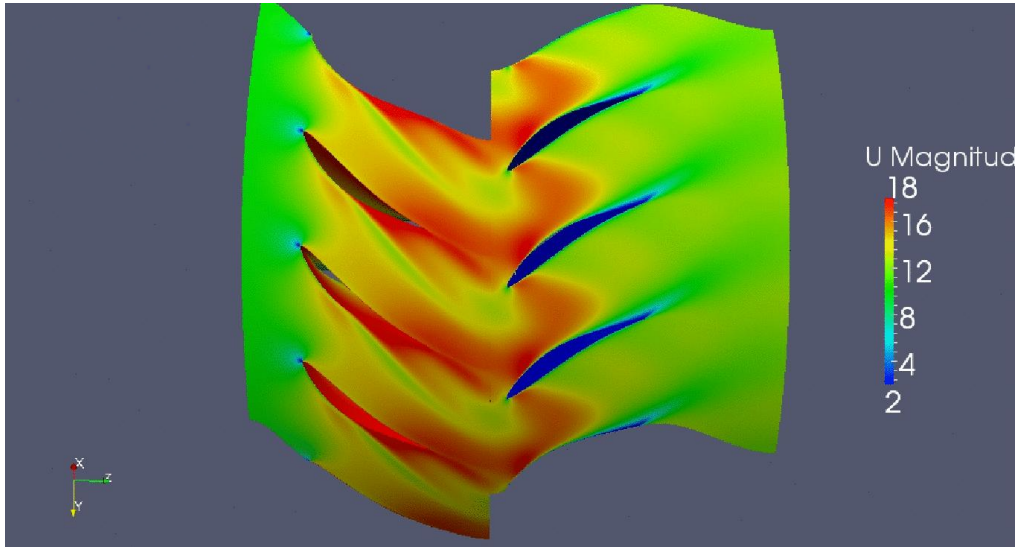
Αεροδυναμική-αεροελαστική ανάλυση, με λογισμικό της ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ, επιβατικού αεροσκάφους τύπου **Blended Wing Body (BWB)** 800 θέσεων για υπερατλαντικά ταξίδια (15% μικρότερη κατανάλωση καυσίμου). Λόγω της ομαλής μετάβασης από την άτρακτο στις πτέρυγες, συμβάλλει και η άτρακτος στη δημιουργία άνωσης.



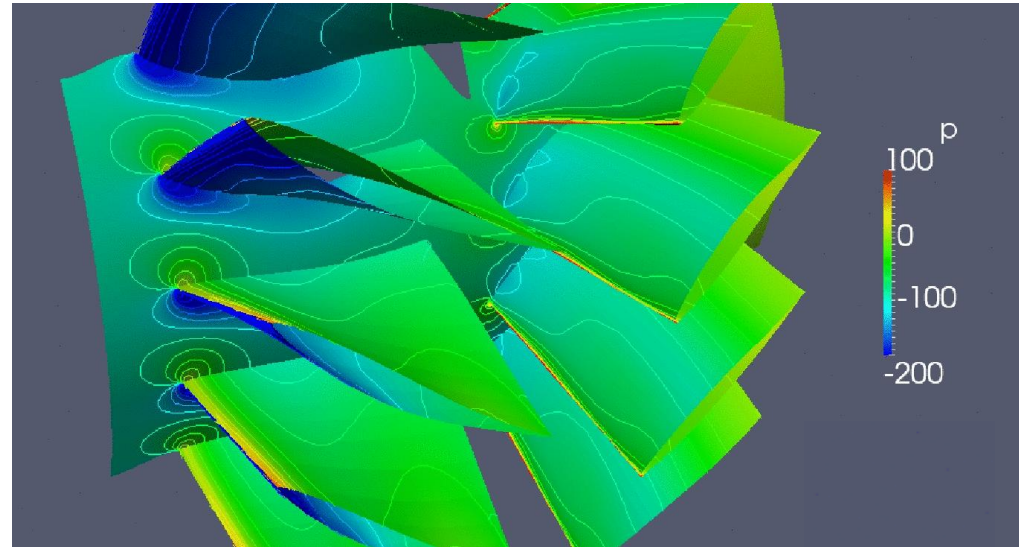
Υπολογιστική πρόλεξη της ροής που αναπτύσσεται γύρω από ένα νέο **Υπερηχητικό Business Jet**, 18 επιβατών, το οποίο σχεδιάστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος HISAC της ΕΕ, πρακτικά ως διάδοχος του αποσυρθέντος Concorde.

Numerical prediction of the flow around a **18-passenger Supersonic Business Jet (SBJ)**, designed as a potential Concorde successor. Research conducted within the HISAC project funded by the EU.

Προλέξεις Ροών με Λογισμικό της ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ Flow Studies with S/W Developed by the PCOpt/NTUA



Πεδίο ταχυτήτων.
Velocity field.



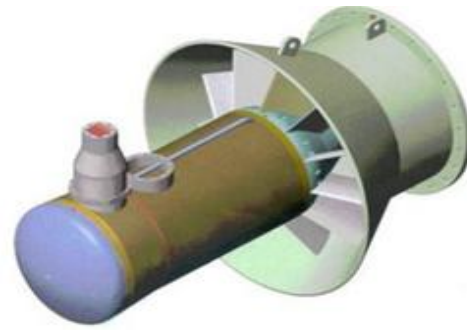
Κατανομές στατικής πίεσης στα πτερύγια και στην
άτρακτο.
Static pressure distribution on blades and shaft.

Πρόλεξη της ροής σε βαθμίδα **συμπιεστή** (αλληλεπίδραση περιστρεφόμενης και σταθερής πτερύγωσης), με χρήση λογισμικού που αναπτύσσεται στη ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ .

Flow simulations in a **compressor** stage (rotor-stator interaction) predicted by the flow solver of PCOpt/NTUA.

Σχεδιασμός - Βελτιστοποίηση HYDROMATRIX®

Design – Optimization HYDROMATRIX®

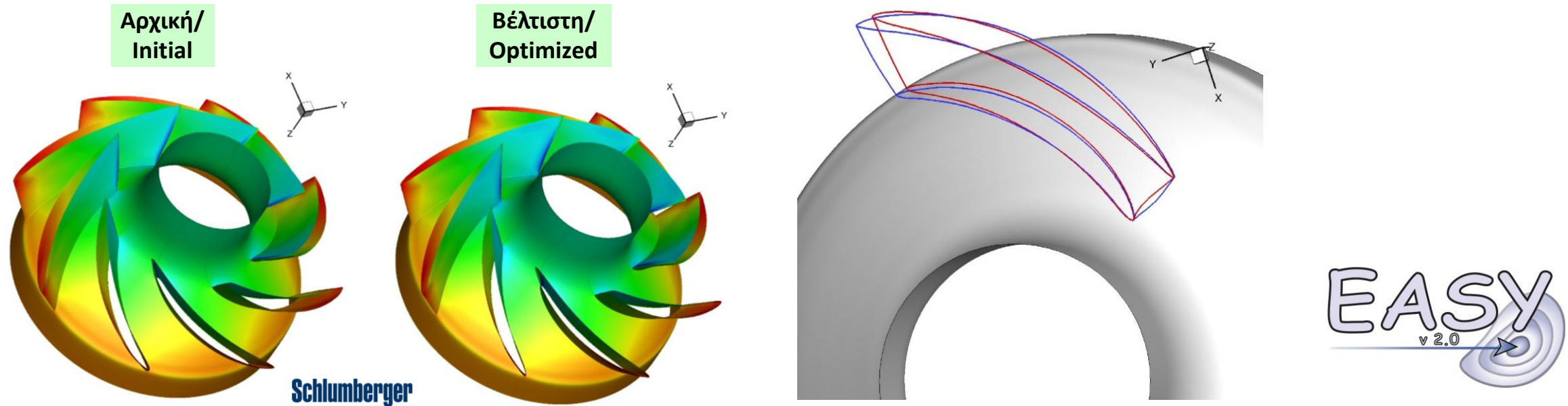


Σε συνεργασία με την εταιρεία Andritz-Hydro χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό βελτιστοποίησης **EASY** της ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ για να σχεδιαστεί το σύστημα Hydromatrix®. Πρόκειται για σύνθεση μικρών **αξονικών στροβίλων** με αντίστοιχες ηλεκτρογεννήτριες, όπως στο σχήμα. Ο Hydromatrix® έχει αποδεδειγμένα πλεονεκτήματα ως προς τους συμβατικούς σχεδιασμούς (χαμηλότερο λόγο κόστους προς την παραγόμενη ισχύ, είναι φιλικό προς το περιβάλλον και η εγκατάσταση του απαιτεί λιγότερα έργα πολιτικού μηχανικού). Ο Hydromatrix® συναντάται σε αρκετά έργα ανά τον κόσμο.

In collaboration with Andritz-Hydro, the in-house evolutionary algorithm based optimization platform (**EASY**) was used to design the Hydromatrix®. Hydromatrix® is an innovative solution for the development of low head hydropower sites. It makes use of a number of relatively small, **axial flow, fixed blade type turbine generator units**, comprising a factory assembled grid or “matrix”. The most common ways of installing matrix turbines is in one, two or three rows.

Σχεδιασμός Βέλτιστης Υποβρύχιας Αντλίας

Designing of the Optimal Submersible Pump

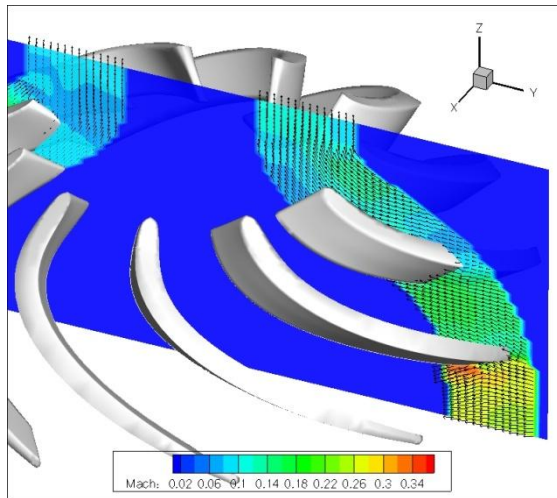


Χρήση του λογισμικού βελτιστοποίησης **EASY** (*εξελικτικοί αλγόριθμοι*) της ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ για το σχεδιασμό μια νέας **πτερωτής υποβρύχιας αντλίας άντλησης πετρελαίου**, με πολύ καλύτερη απόδοση από την προϋπάρχουσα. Στα σχήματα, φαίνονται η κατανομή πίεσης και η μεταβολή στο σχήμα της πτερωτής.

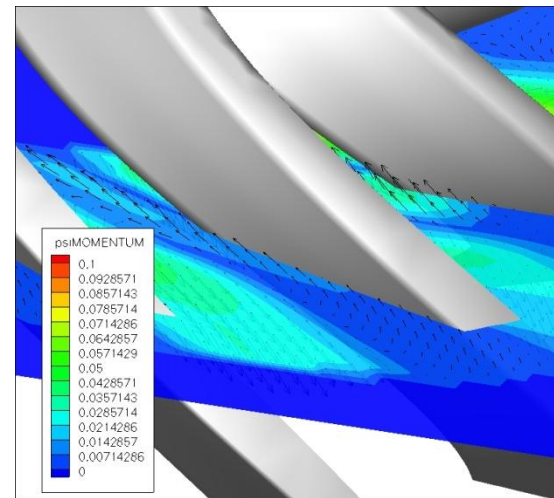
Use of the optimization platform **EASY** (*evolutionary algorithms*) developed by the PCOpt/NTUA for the design of a new **impeller** of a **submersible oil drilling pump**, with better performance than the existing one. Pressure distributions and the initial and optimized impeller shape are shown.

Σχεδιασμός Αντλίας Πετρελαίου με Συζυγείς Μεθόδους Design of an Oil Pump using Adjoint Methods

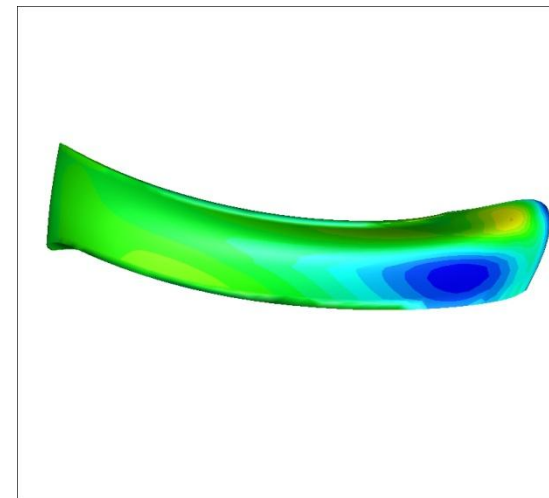
3D Προσομοίωση ροής /
3D flow simulation



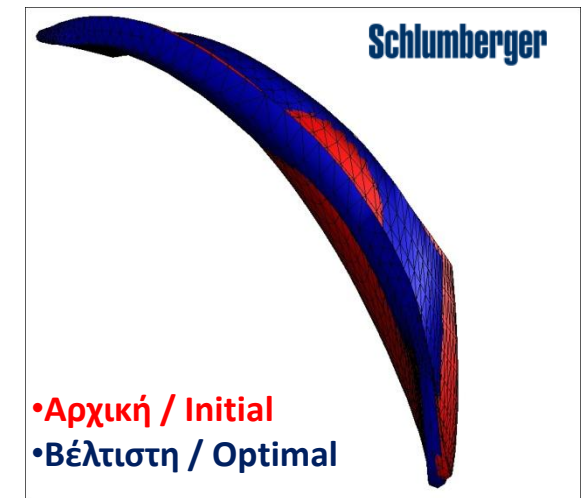
3D Συζυγές Πεδίο Ταχυτήτων /
3D Adjoint Velocity Field



Χάρτης Ευαισθησίας πτερυγίου /
Sensitivity map of the impeller's blade



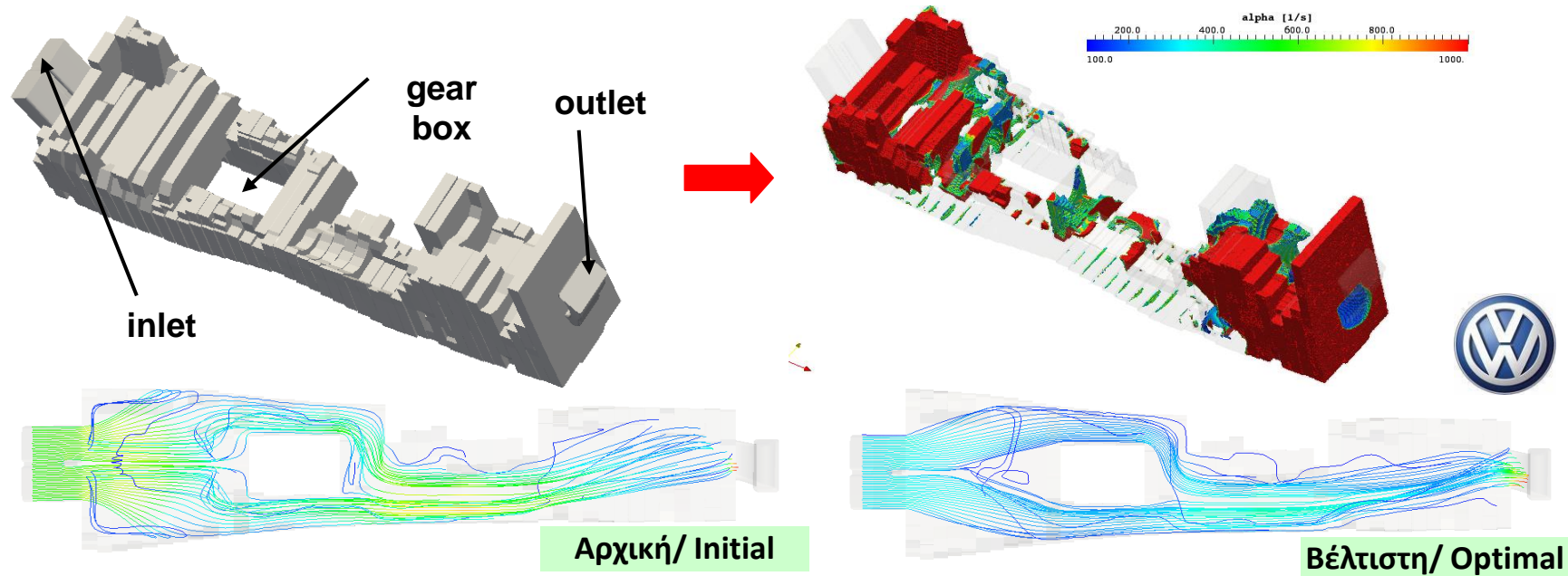
Γεωμετρία Κινούμενου
Πτερυγίου / Impeller's Blade



Ανάπτυξη της 3D **μη-μόνιμης συνεχούς συζυγούς διατύπωσης** βασισμένη στη **Μέθοδο των Εμβαπτιζόμενων Ορίων**. Βελτιστοποίηση **βαθμίδας** υποβρύχιας αντλίας πετρελαίου ως προς την κατανομή ταχύτητας στην έξοδο. Πεδίο **αριθμού Mach** και **συζυγούς ταχύτητας** εντός του διαχύτη. Χάρτης Ευαισθησίας και βελτιστοποίηση κινούμενου πτερυγίου.

Development of the **3D unsteady Continuous Adjoint Method** based on the **Immersed Boundaries** approach. The software is used for the design of a **stage (impeller-diffuser)** of a **submersible oil pump**, by minimizing the velocity swirl at the exit. Primal and adjoint fields close to the diffuser's blades. **Sensitivity map** computed on the surface of the impeller's blade and its deformation after **6 optimization cycles**.

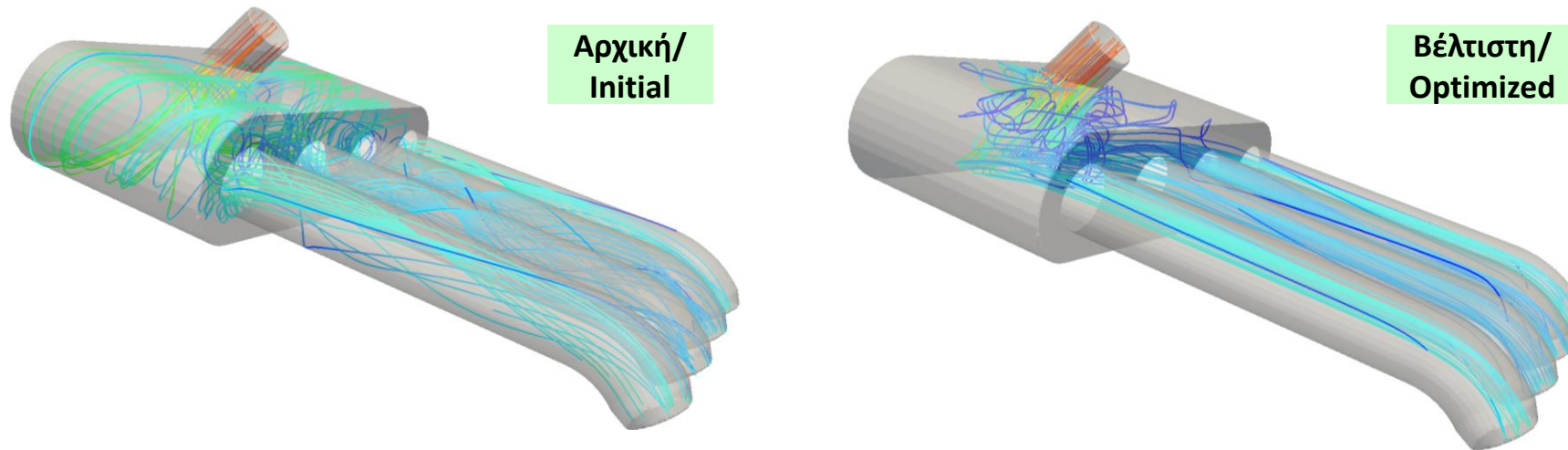
Βελτιστοποίηση Τοπολογίας Topology Optimization



Η **βελτιστοποίηση τοπολογίας** υποδεικνύει τη «**στερεοποίηση**» τμημάτων στο εσωτερικό λ.χ. ενός αγωγού ώστε να έχει βέλτιστη αεροδυναμική συμπεριφορά. Εφαρμογή στον **αεραγωγό κλιματισμού** επιβατικού αυτοκινήτου της VW. Οι κόκκινες περιοχές (δεξιά) είναι αυτές που πρέπει να στερεοποιηθούν/κλείσουν, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες λόγω ανακυκλοφορίας της ροής.

Topology optimization for an **air conditioning duct** of a VW passenger car. This type of optimization is based on the **solidification** of areas indicated by the optimization algorithm. In this case, the red areas should be solidified in order to minimize losses due to flow recirculation.

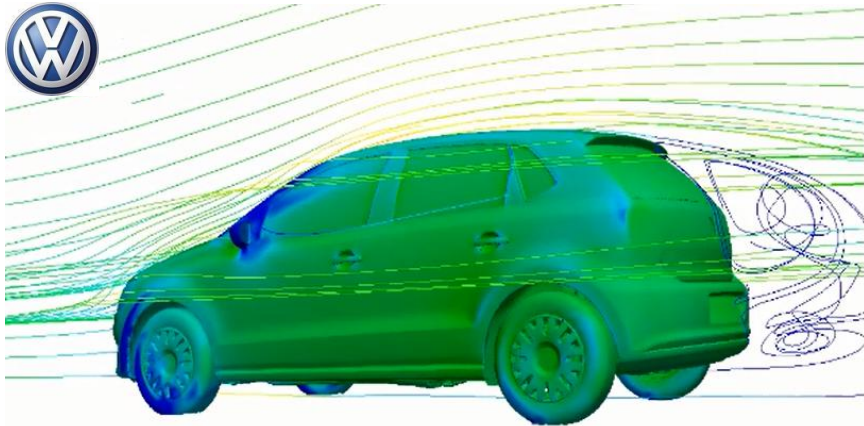
Βελτιστοποίηση Τοπολογίας Topology Optimization



Βελτιστοποίηση τοπολογίας σε πολλαπλή εισαγωγή αυτοκινήτου. Τμήματα στο εσωτερικό της έχουν στερεοποιηθεί οδηγώντας έτσι σε πιο ομαλή είσοδο ης ροής και τελικά στη μείωση των απωλειών της ροής λόγω τριβής-συνεκτικότητας. Βελτιστοποίηση με λογισμικό της ΜΠΥΡΒ/ΕΜΠ, βασισμένο στη συζυγή μέθοδο, σε περιβάλλον OpenFOAM.

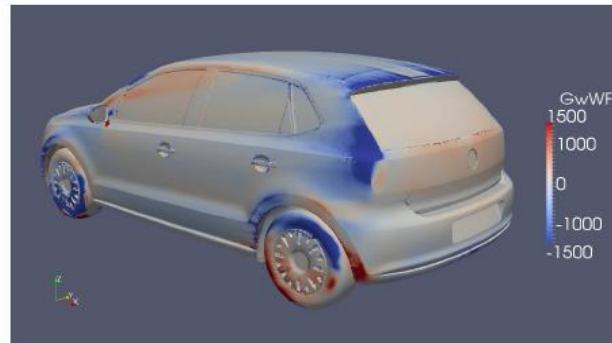
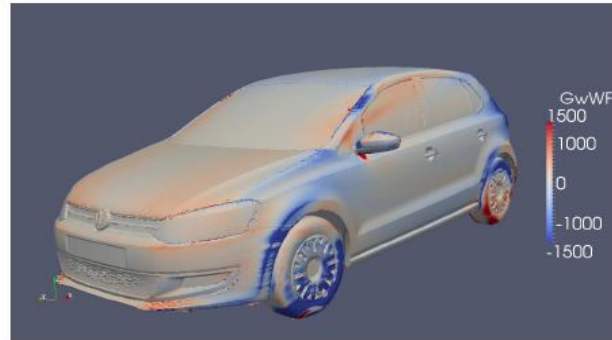
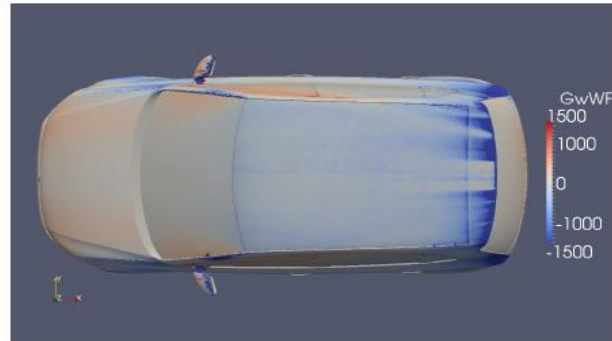
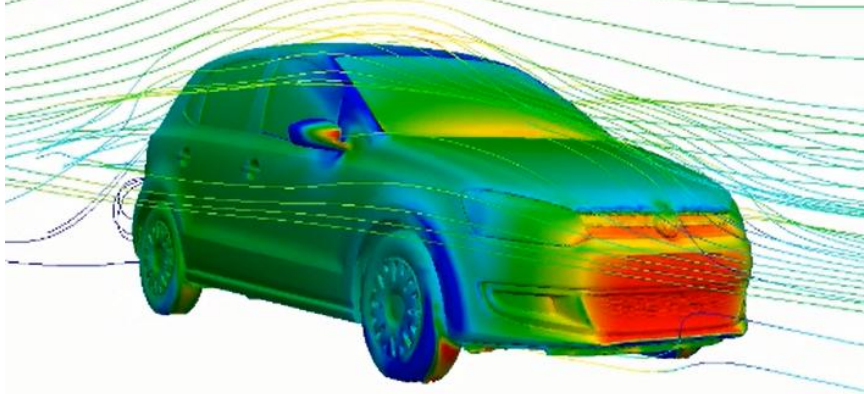
Topology optimization of an engine plenum. Some parts in the interior have been solidified, resulting in optimized performance due to minimization of the losses caused by viscous stresses. Optimization performed using the PCOpt/NTUA adjoint solver, programmed in the OpenFOAM environment.

Προλέξεις Ροών με Λογισμικό της ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ Flow Studies with S/W Developed by the PCOpt/NTUA



Κατανομή πίεσης και γραμμές ροής γύρω από το όχημα.

Pressure distribution and streamlines around the car.



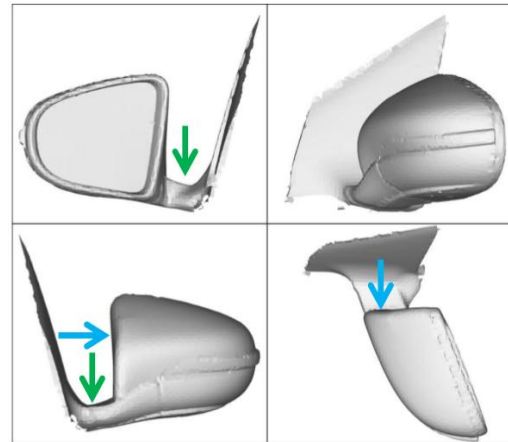
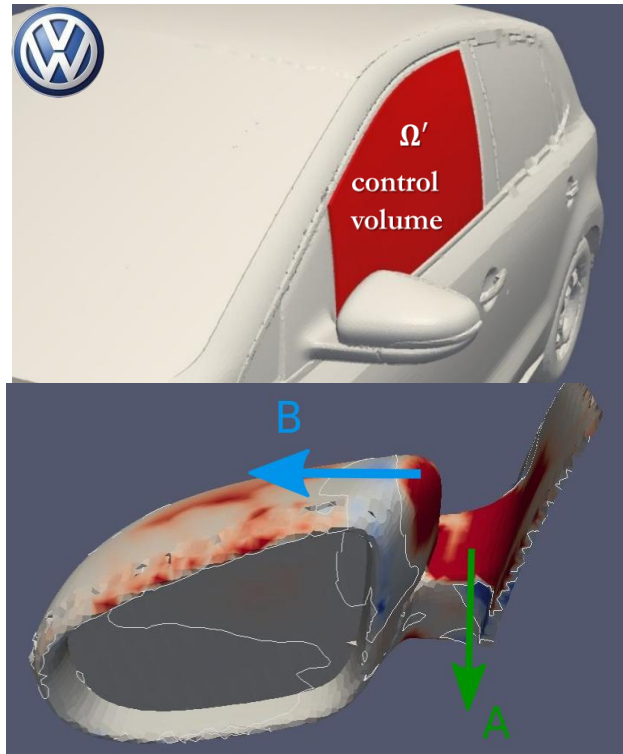
Χρωματισμός της επιφάνειας με χρήση της συζυγούς μεθόδου της ΜΠΥΡΒ/ΕΜΠ (σε περιβάλλον OpenFOAM) ώστε να φανεί η ευαισθησία της άνωσης ως προς κάθε περιοχή του μοντέλου Polo της VW.

Περιοχές με **κόκκινο** πρέπει να μετατοπιστούν προς τα μέσα, ενώ αυτές με **μπλε** προς τα έξω για **καλύτερη πρόσφυση** στο έδαφος.

Computational simulation of the flow around the VW Polo car using software developed by the PCOpt/NTUA. Right: The adjoint-based PCOpt/NTUA code (in OpenFOAM) is used to compute lift sensitivities of the VW Polo car. **Red** areas should move inwards and **blue** ones outwards for **better traction** to the ground.

Ελαχιστοποίηση Θορύβου σε Αυτοκίνητο

Noise Minimization in a Car



ΚΟΚΚΙΝΟ: προς τα μέσα

ΜΠΛΕ: προς τα έξω

RED: inwards

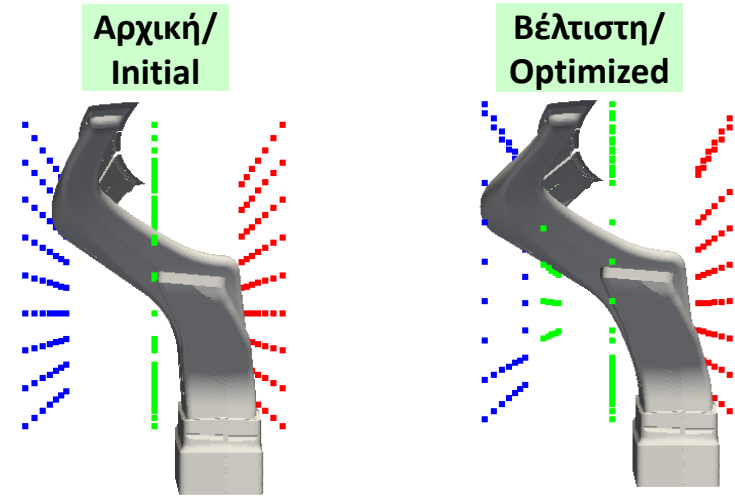
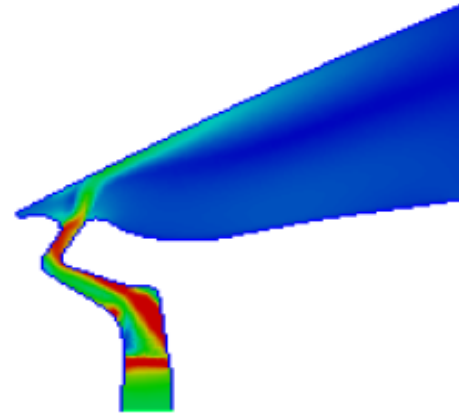
BLUE: outwards

Επανασχεδιασμός του **πλευρικού καθρέπτη** του Polo, ώστε ο **θόρυβος** που επάγει στον οδηγό να είναι **ελάχιστος**. Σχεδιάζοντας τον **χάρτη ευαισθησίας** (κάτω αριστερά), με χρήση των συζυγών μεθόδων, αναδεικνύονται οι ενδεικνύμενες τοπικές μετατοπίσεις. Η αεροακουστική συμπεριφορά του νέου σχεδιασμού πιστοποιήθηκε πειραματικά στη VW. Βελτιστοποίηση με λογισμικό της ΜΠΥΡΒ/ΕΜΠ, βασισμένο στη συζυγή μέθοδο, σε περιβάλλον OpenFOAM.

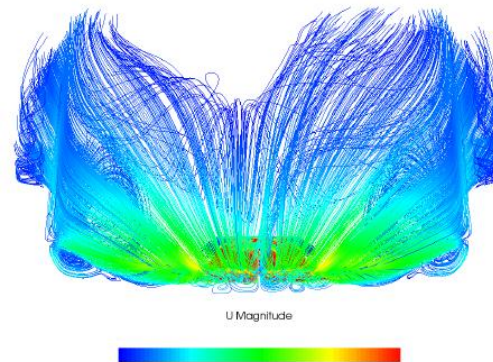
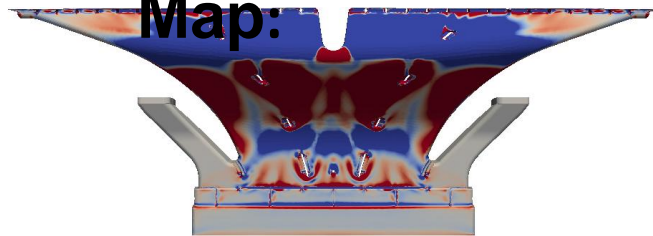
Re-designing of the VW Polo **side mirror** in order to minimize the **noise** perceived by the driver. The performance of the new design was verified experimentally by VW. Optimization performed using the PCOpt/NTUA adjoint solver, programmed in the OpenFOAM environment.

Βελτιστοποίηση Μορφής Ακροφυσίου σε Αφυγραντήρα Αυτοκινήτου

Defroster Nozzle Shape Optimization



Sensitivity Map:

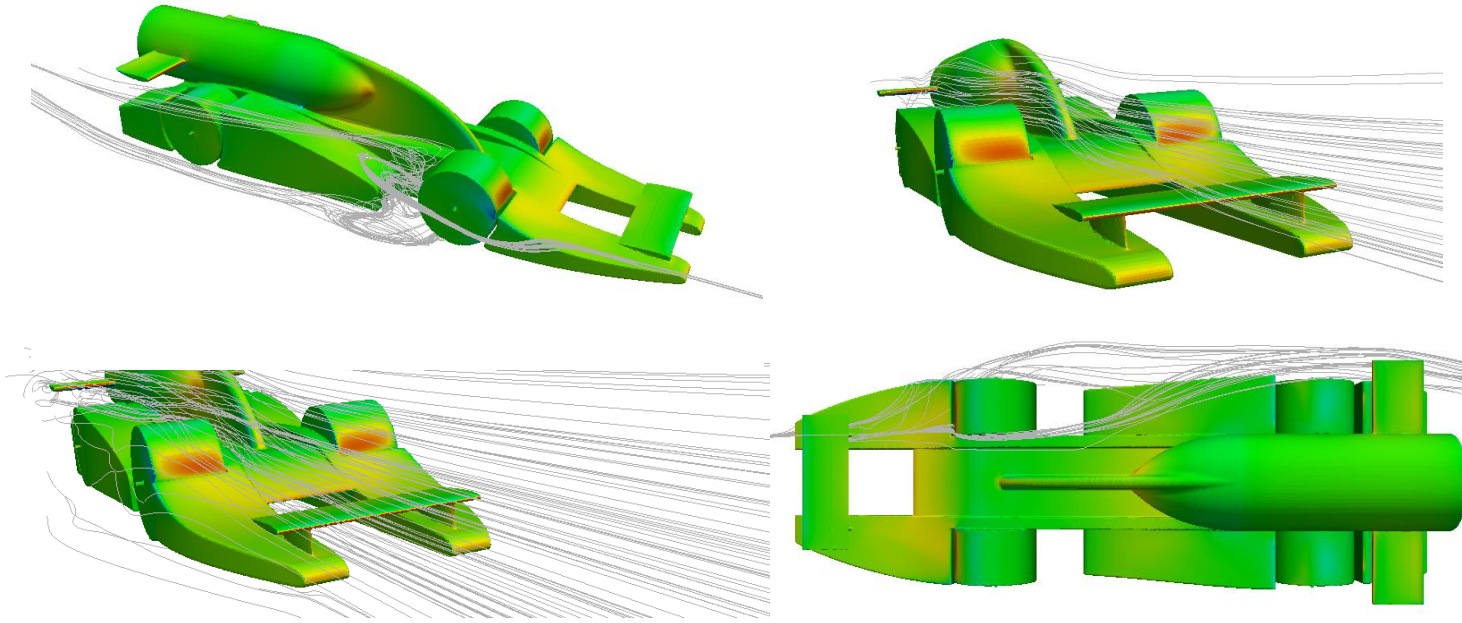


The shape optimization of the defroster nozzle, part of the HVAC unit of a TOYOTA passenger car, led to an improved defrosting performance of the vehicle. The optimized geometry complies with manufacturing and topological constraints, was manufactured and submitted to a defrost test which proved a **reduction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

Η βελτιστοποίηση έγινε στον **αγωγό κλιματισμού** (HVAC) του αφυγραντήρα του επιβατικού αυτοκινήτου της TOYOTA οδήγησε σε μείωση του χρόνου αποπαγοποίησης - αφύγρανσης του παρμπρίζ κατά **15%**. Βελτιστοποίηση με λογισμικό της ΜΠΥΡΒ/ΕΜΠ, βασισμένο στη συζυγή μέθοδο, σε περιβάλλον OpenFOAM.



F1 in Schools

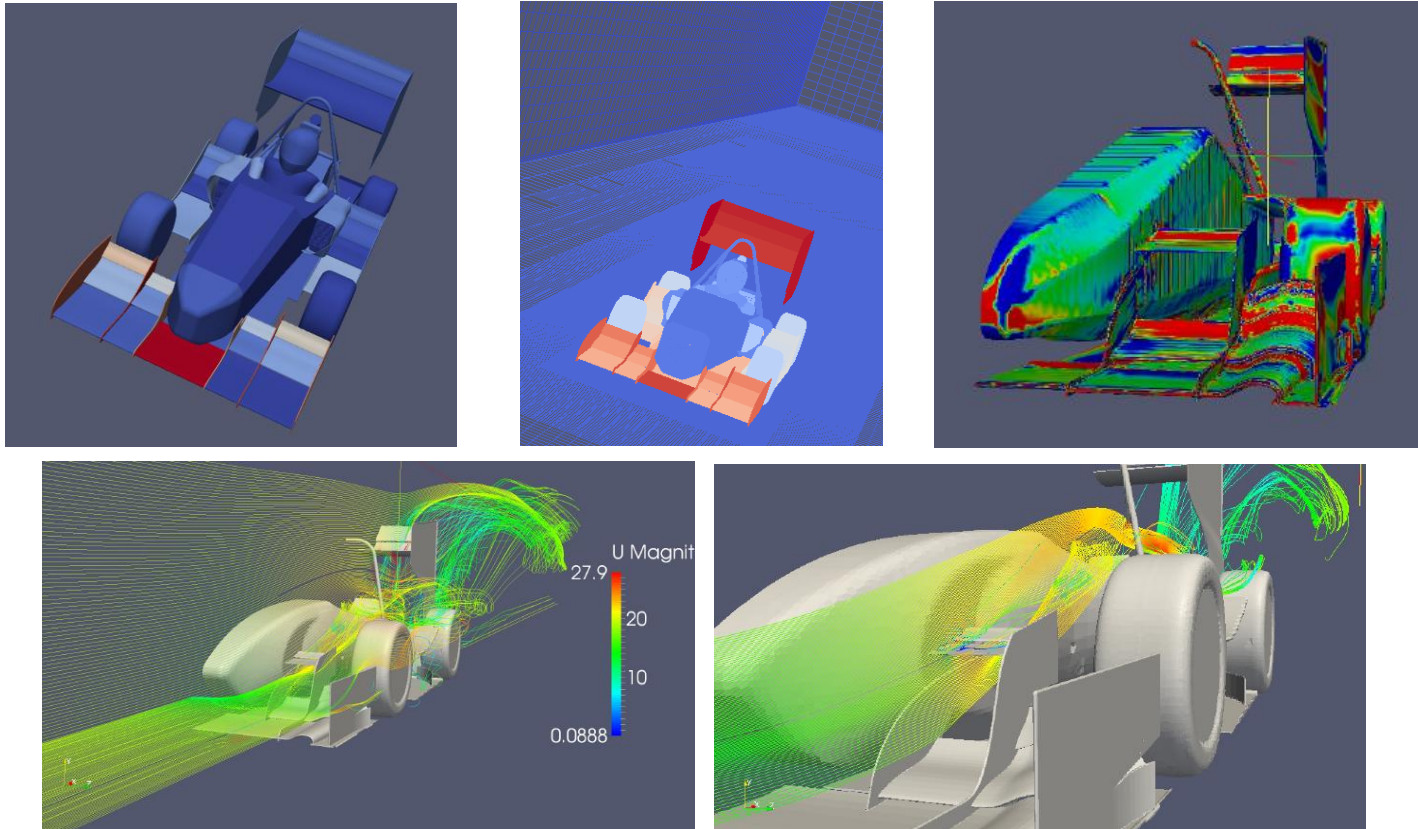


Το μονοθέσιο αυτό σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με σκοπό τη συμμετοχή στο διαγωνισμό **F1 in Schools™** στους τελικούς της διοργάνωσης. Παίρνει ισχύ από έναν μονοκύλινδρο κινητήρα που συμπιέζει 8 γρ. CO₂. Τα μονοθέσια σχεδιάζονται ώστε να διανύουν απόσταση 20 m. όσο πιο γρήγορα γίνεται, αντέχοντας στις αδρανειακές δυνάμεις λόγω της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης. Ο προπτυχιακός φοιτητής του ΕΜΠ (Κ.Χονδρογιάννης), σε συνεργασία με τη ΜΠΥΡ&Β ΕΜΠ, χρησιμοποίησε το λογισμικό CFD και βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκαν στη ΜΠΥΡ&Β ΕΜΠ για το σχεδιασμό του πιο γρήγορου αυτοκινήτου στη διοργάνωση (Abu-Dhabi Finals, 2014).

‘The car’ was designed and manufactured according to the regulations of F1 in Schools™ track at the World Finals event. It is powered by a single gas cylinder containing 8 grams of pressurized CO₂. **F1 in Schools™** cars are designed to travel the 20 m. race, whilst withstanding the forces of launch acceleration, track traversing and physical deceleration. First year undergraduate student (K.Chondrogiannis), with the help of PCOpt/NTUA personnel used our CFD-optimization methods to design the fastest car (Abu-Dhabi Finals, 2014).



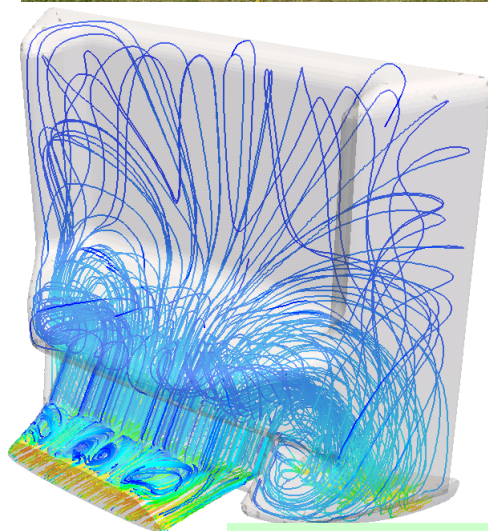
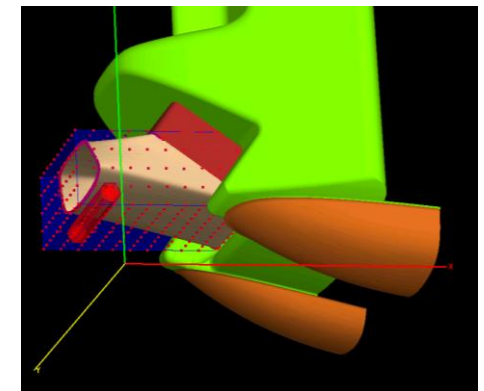
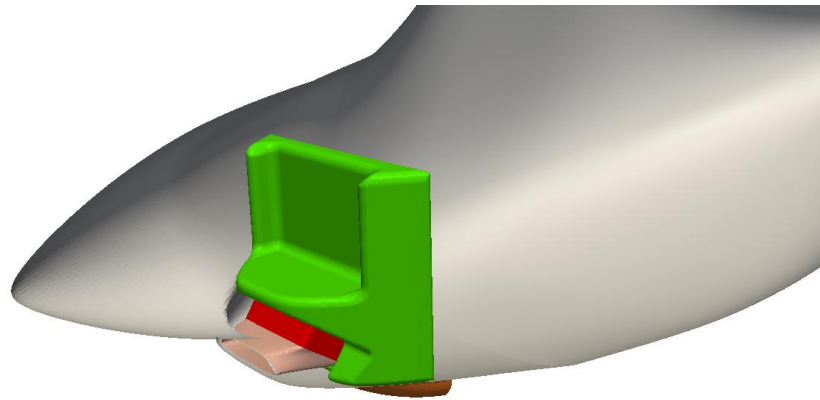
Student Racing Car Applications



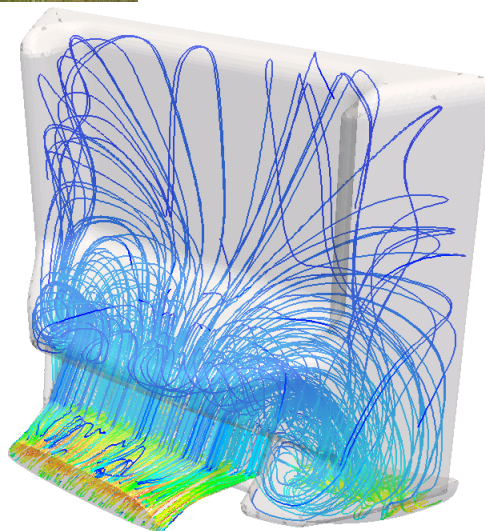
The formula student team of NTUA (**Prom Racing Team**) designs and manufactures a formula type vehicle in order to compete to the International formula student competitions. PCOpt/NTUA offered the team not only the necessary computational resources in order to complete their CFD studies but also trained the students on adjoint based optimization which helped the team further develop their designs and gain performance. See Diploma Theses by V. Tsolakis & N. Traiforos.

Η ομάδα **Prom Racing Team** του ΕΜΠ σχεδιάζει και κατασκευάζει όχημα τύπου formula με σκοπό να συμμετάσχει στους διεθνείς φοιτητικούς αγώνες formula student. Η ΜΠΥΡ&Β ΕΜΠ προσέφερε και προσφέρει στην ομάδα τα υπολογιστικά μέσα (λογισμικό και υλικό), εκπαιδεύει μέλη της ομάδας και σπουδαστές του Ιδρύματος στη χρήση των συζυγών μεθόδων που αναπτύσσει και με τον τρόπο αυτό προσπαθεί να βοηθήσει την ομάδα στο να βελτιώσει τους τρέχοντες σχεδιασμούς. Σχετικές είναι οι διπλωματικές εργασίες των Β. Τσολάκη και Ν. Τραϊφόρου.

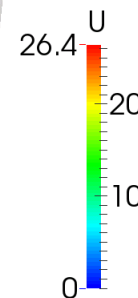
Βελτιστοποίηση Συστήματος Ψύξης Ηλεκτρικού Αεροσκάφους Cooling Loss Minimization of an Electrical Plane



Αρχικό / Initial



Βέλτιστο / Optimized



Βελτιστοποίηση του συστήματος ψύξης του κινητήρα αεροπορικού αεροσκάφους που κατασκευάζει η Pipistrel (Σλοβενία), με χρήση της συζυγούς μεθόδου της ΜΤΥΡΒ/ΕΜΠ.

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.