



«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροτροβίλων» Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος

- Τα μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα γνωρίζουν τα τελευταία χρόνια σημαντική ανάπτυξη, τόσο στην Ευρώπη όσο και στον κόσμο ολόκληρο, είτε με την κατασκευή νέων ή με την ανανέωση του εξοπλισμού των υπάρχόντων σταθμών παραγωγής.

Για τον λόγο αυτό η αγορά των μικρών υδροτροβίλων έγινε ιδιαίτερα ανταγωνιστική.

- Λόγω του έντονου ανταγωνισμού οι κατασκευαστές των μικρών υδροτροβίλων δίνουν πλέον ιδιαίτερο βάρος στο κόστος αλλά κυρίως στα λειτουργικά χαρακτηριστικά, δηλ. το εύρος λειτουργίας και τον βαθμό απόδοσης.
- Μέχρι τα τελευταία χρόνια οι κατασκευαστές των μικρών υδροτροβίλων, συνήθως μικρές παραδοσιακές εταιρείες ή θυγατρικές εταιρειών κατασκευής μεγάλων υδροτροβίλων, βάσιζαν την σχεδίαση των υδροτροβίλων τους σε παλαιά σχέδια, μη έχοντας τις οικονομικές και τεχνικές δυνατότητες νέων σχεδιάσεων και εργαστηριακών δοκιμών ή κατασκεύαζαν μικρούς υδροτροβίλους ως μικρογραφία των μεγάλων βασιζόμενοι στους νόμους ομοιότητας. Και στις δύο περιπτώσεις το τελικό προϊόν δεν ήταν απόλυτα προσαρμοσμένο στις ανάγκες σχεδίασης για την παραγωγή του βέλτιστου υδροτροβίλου.



Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκαν σημαντικές πρόοδοι στην ανάπτυξη μεθοδολογιών σχεδίασης και βελτιστοποίησης της σχεδίασης μηχανών, οι οποίες σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών κατέστησαν την δυνατότητα βέλτιστης σχεδίασης προσιτή σε μικρούς όσο και σε παραδοσιακούς κατασκευαστές υδροστροβίλων.

Οι σύγχρονες μεθοδολογίες βέλτιστης σχεδίασης διακρίνονται σε τρεις διακριτές φάσεις, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε δική της επιστημονική περιοχή και συγκεκριμένα:

- α) την μοντελοποίηση της ροής
- β) την παραμετροποίηση των τριδιάστατων πολύπλοκων επιφανειών που ορίζουν την γεωμετρία των υδροστροβίλων και
- γ) τέλος την μεθοδολογία βελτιστοποίησης που βασίζεται σε εξελικτικούς αλγορίθμους



**«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος**

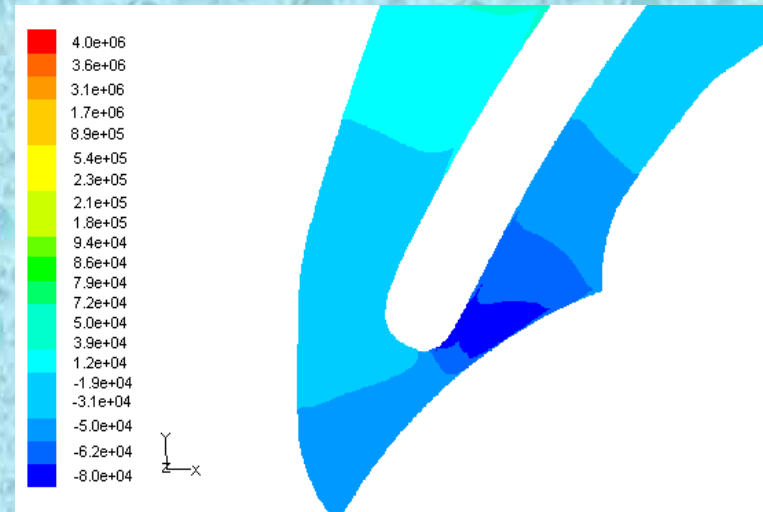
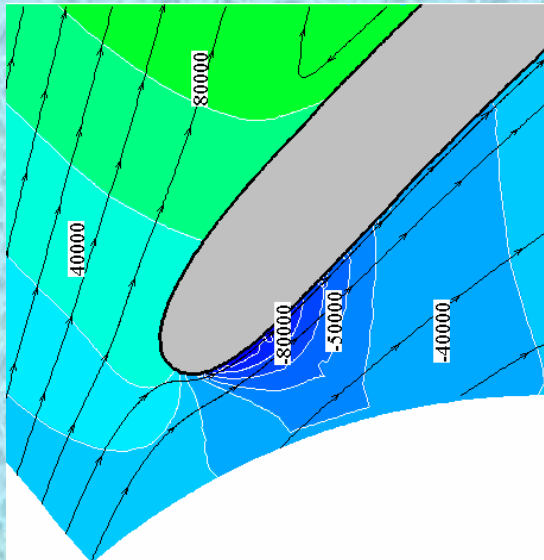
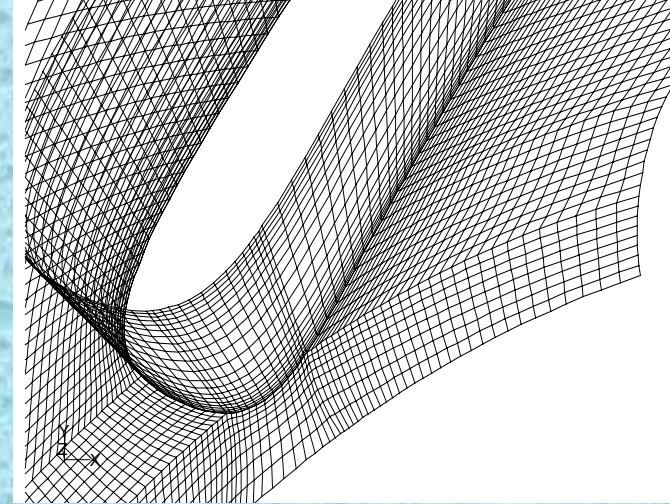
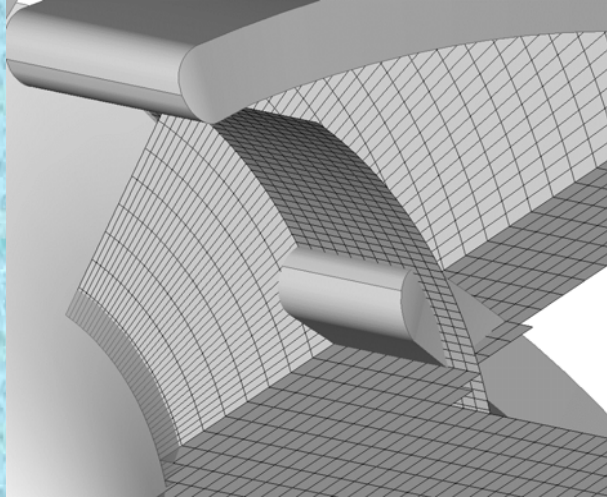
- Όσον αφορά την μοντελοποίηση της ροής διακρίνονται δύο δυνατότητες προσέγγισης
- α) οι 'παραδοσιακές' μέθοδοι που βασίζονται στην επίλυση των εξισώσεων της ροής πάνω σε ένα πλέγμα στον χώρο
 - β) μέθοδοι που βασίζονται στην Λαγκρανζιανή θεώρηση της ροής, δηλ. Στην παρακλούθηση της τροχιάς ενός σωματιδίου και καταγραφήτων συνθηκών της ροής σε κάθε θέση που αυτό βρίσκεται



Με τον όρο παραδοσιακές μέθοδοι (οι οποίες συνεχώς εξελίσσονται και βελτιώνονται) εννοούνται αυτές στις οποίες επιλύονται οι εξισώσεις της ροής (εξισώσεις Navier-Stokes) σε πάνω σε ένα χωρικό πλέγμα. Δυνατότητα επίλυσης σε σταθερό ή στρεφόμενο σύστημα, προσαρμοζόμενο πλέγμα μεταβλητής πυκνότητας για την αύξηση της ακρίβειας κλπ., τριδιάστατο καρτεσιανό ή καμπύλόγραμμο, ενσωμάτωση μοντέλου τύρβης, σπηλαιώσης κλπ.



«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος





Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται όλο και πιο συχνά χρόνια μέθοδοι που βασίζονται στην Λαγκρανζιανή θεώρηση της ροής όπως η μεθοδολογία των ρεόντων σωματιδίων (SPH Smooth Particle Hydrodynamic) και η μέθοδος του γρήγορου Λαγκρανζιανού επιλυτή (Fast Lagrangian Solver) οι οποίες αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται και στο Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών του ΕΜΠ.

Πρόκειται για μη πλεγματικές μεθόδους που έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Είναι κατάλληλες για ροές με ελεύθερη επιφάνεια
- Κατάλληλες για μη μόνιμες ροές με έντονες μεταβολές, στον χώρο και τον χρόνο
- Απαιτούν εύλογο υπολογιστικό χρόνο

Σύμφωνα με τα προηγούμενα χαρακτηριστικά είναι μέθοδοι κατάλληλες για την ανάλυση της ροής σε υδροστροβίλους δράσεως (Palton και Turgo)



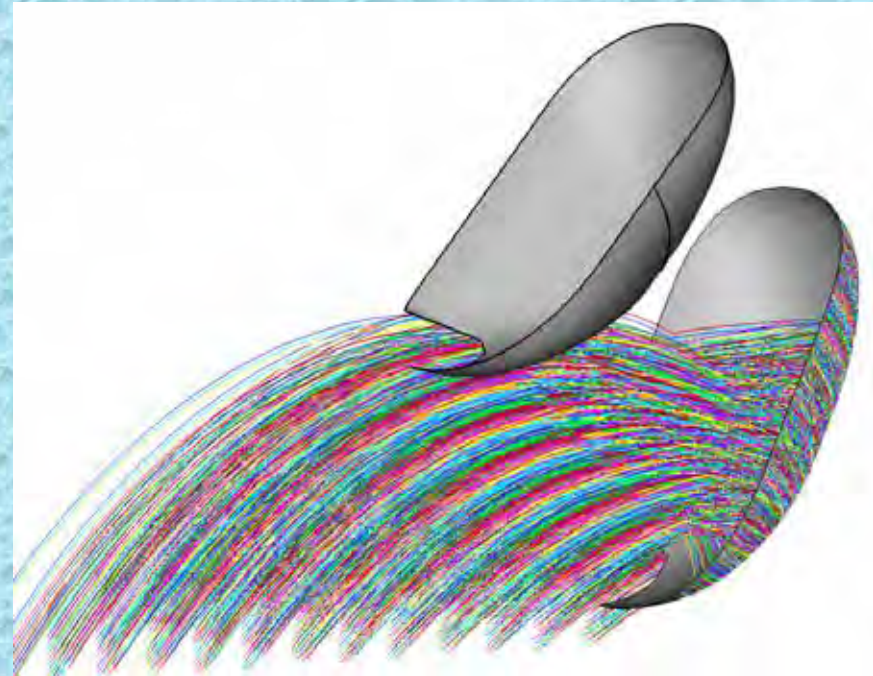
«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος

Από τις μεθόδους που βασίζονται στην Λαγκρανζιανή προσέγγιση αναφέρονται:

- α) η μεθοδολογία των ρεόντων σωματιδίων (Smooth Particle Hydrodynamics) και
- β) η μέθοδος του γρήγορου Λαγκρανζιανού επιλυτή (Fast Lagrangian Solver)

Πρόκειται για μη πλεγματικές μεθόδους που είναι κατάλληλες για ροές μη μόνιμες με ελεύθερη επιφάνεια, έντονες μεταβολές, όπως στους υδροστροβίλους δράσεως (Pelton και Turgo)

Αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται και στο Εργαστήριο Υδροδυναμικών Μηχανών του ΕΜΠ.





Η δεύτερη φάση της μεθοδολογίας απαιτεί την παραμετροποίηση των εν γένει πολύπλοκων γεωμετριών των επιφανειών που ορίζουν μία μηχανή (πτερύγια δρομέα, κέλυφος, κλπ.)

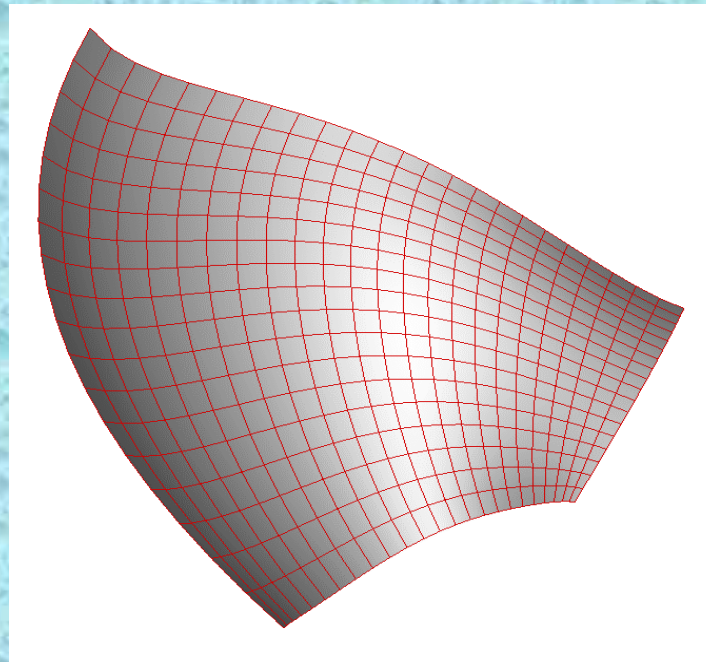
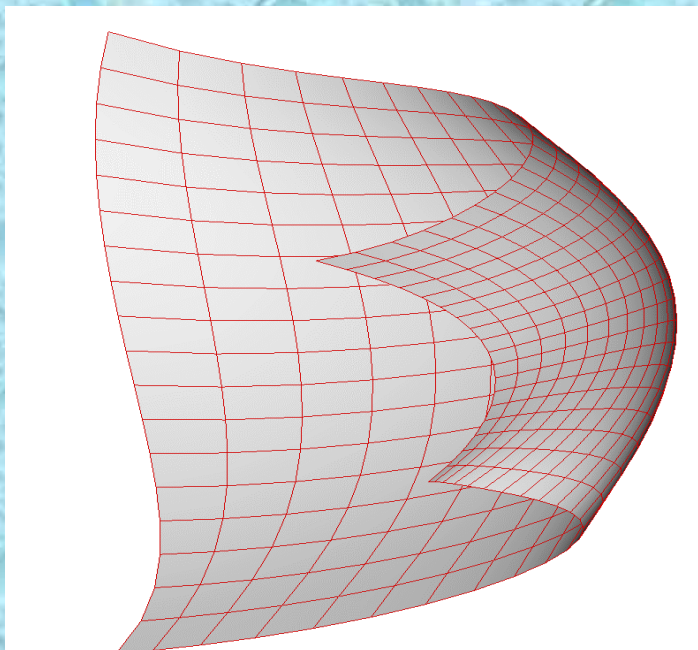
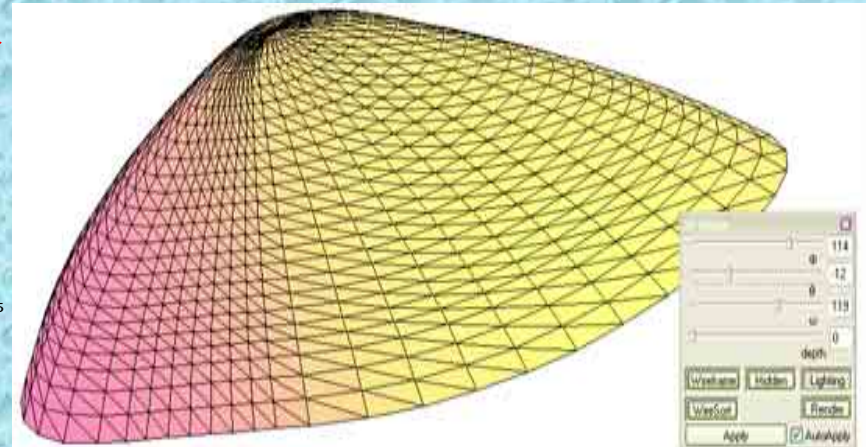
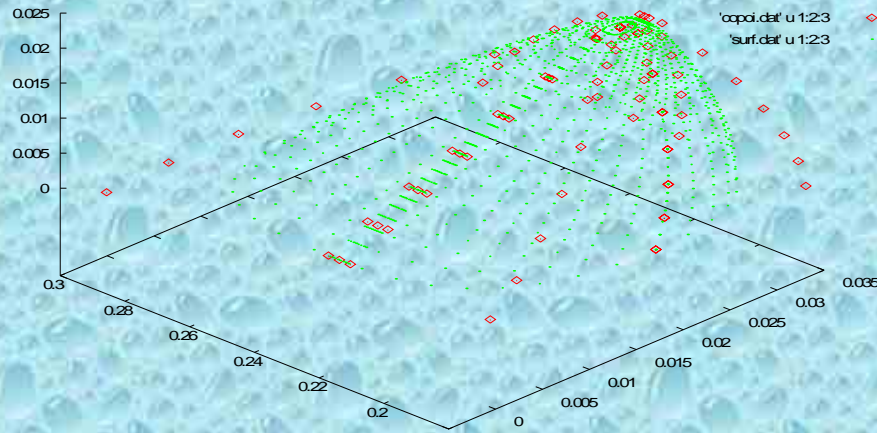
Η φάση αυτή είναι κρίσιμη για την επιτυχία της συνολικής μεθοδολογίας και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της, και τουλάχιστον για δύσκολες γεωμετρίες αποτελεί περιοχή αιχμής

Οι μεθοδολογίες που εφαρμόζονται είναι κυρίως καμπύλες b-splines, Bezier, επιφάνειες NURBS

Βασικό χαρακτηριστικό τους πρέπει να είναι η ευελιξία και επάρκεια καθώς και το πλήθος των ελεύθερων μεταβλητών που περιγράφουν μία γεωμετρία



«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων» Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος





Η Τρίτη φάση της διαδικασίας βελτιστοποίησης της σχεδίασης βασίζεται στην εφαρμογή εξελικτικών αλγορίθμων σύμφωνα με λογισμικό που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ.

Οι αλγόριθμοι αυτοί αναζητούν την βέλτιστη λύση ανάμεσα από πληθυσμούς υποψηφίων λύσεων (δηλ. σχεδιάσεων). Το πέρασμα από ένα πληθυσμό λύσεων στον επόμενο, ο οποίος έχει περισσότερες πιθανότητες καλύτερων λύσεων γίνεται με διαδικασία που μιμείται την βιολογική εξέλιξη των γενεών.

Εχουν το πλεονέκτημα ότι δεν εγκλωβίζονται σε τοπικά ελάχιστα και είναι κατάλληλες για λύσεις που περιγράφονται από μεγάλο πλήθος παραμέτρων.

Εχουν όμως αυξημένες απαιτήσεις υπολογιστικού χρόνου



«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων» Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος

Παραδείγματα βελτιστής σχεδίασης μ. Υδροστροβίλου Pelton

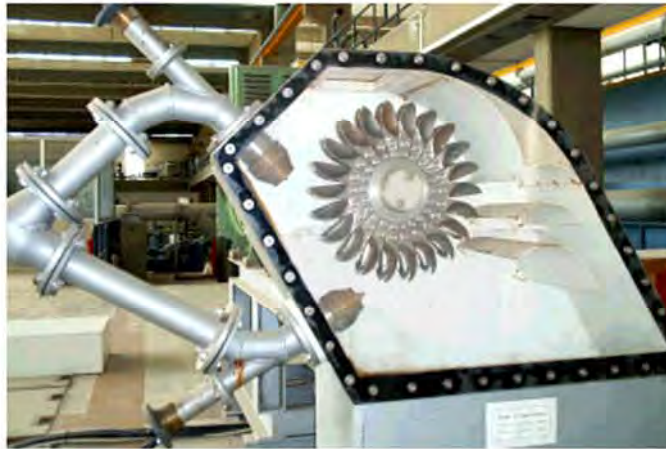
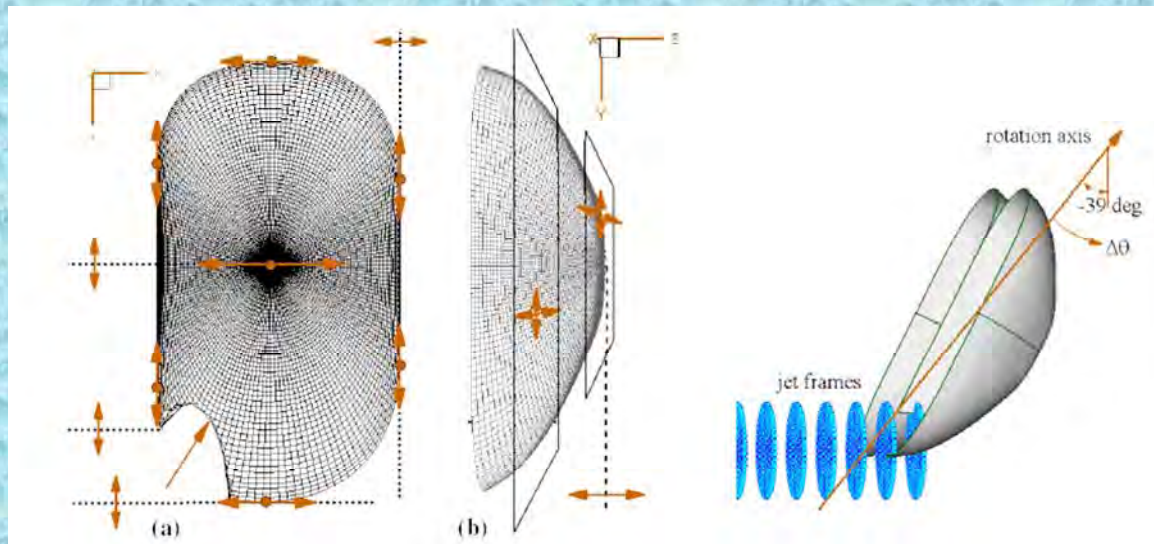
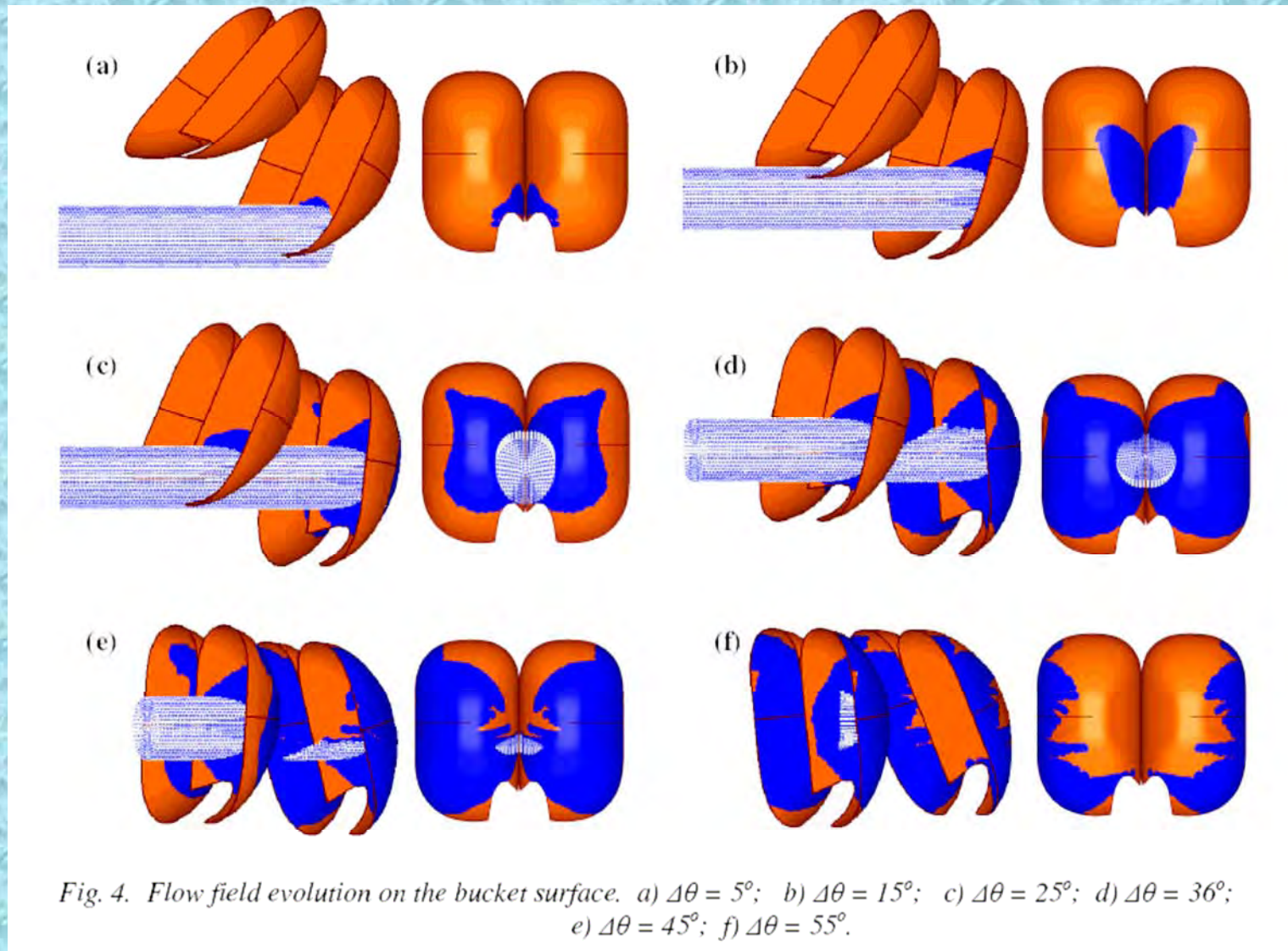


Table 1. Turbine model operation data.

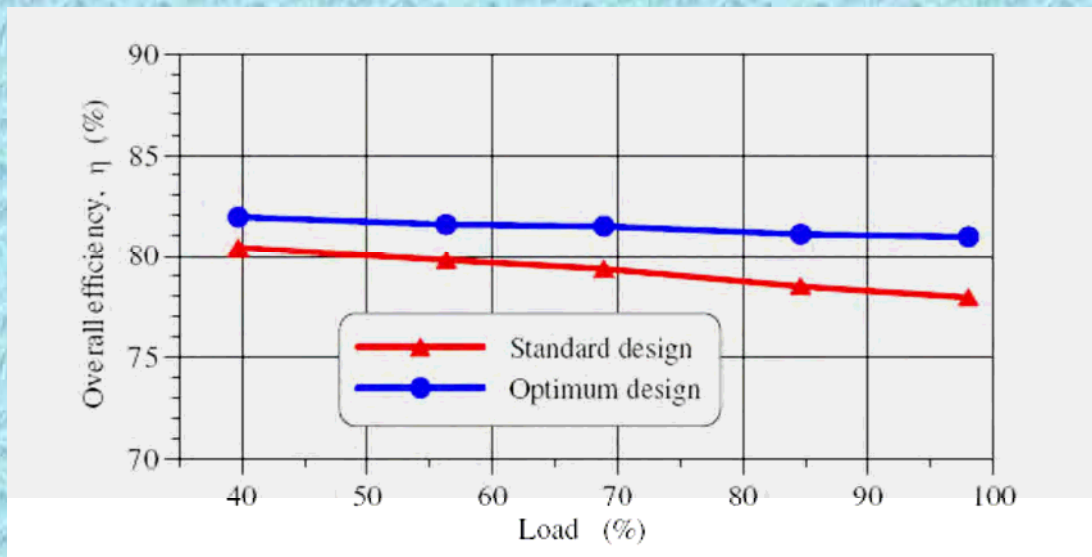
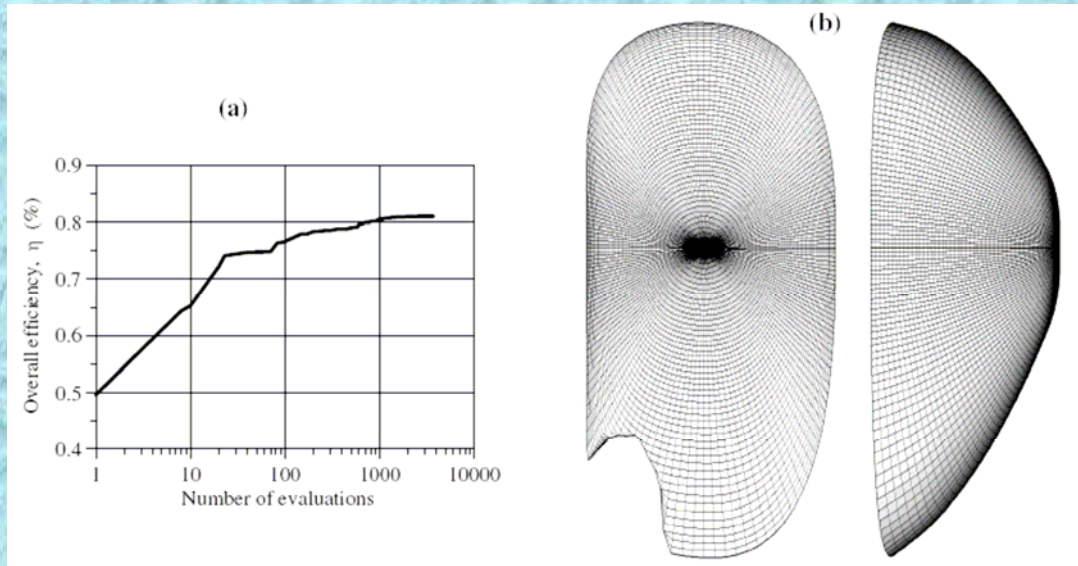
Flow rate	270,6 m ³ /h
Net Head	129,6 m
Rotation speed	1150 rpm
Net power	~80 KW
Jet diameter	31 mm
Number of buckets	22
Splitter line slope	10 deg
Operating nozzles	1 / 2





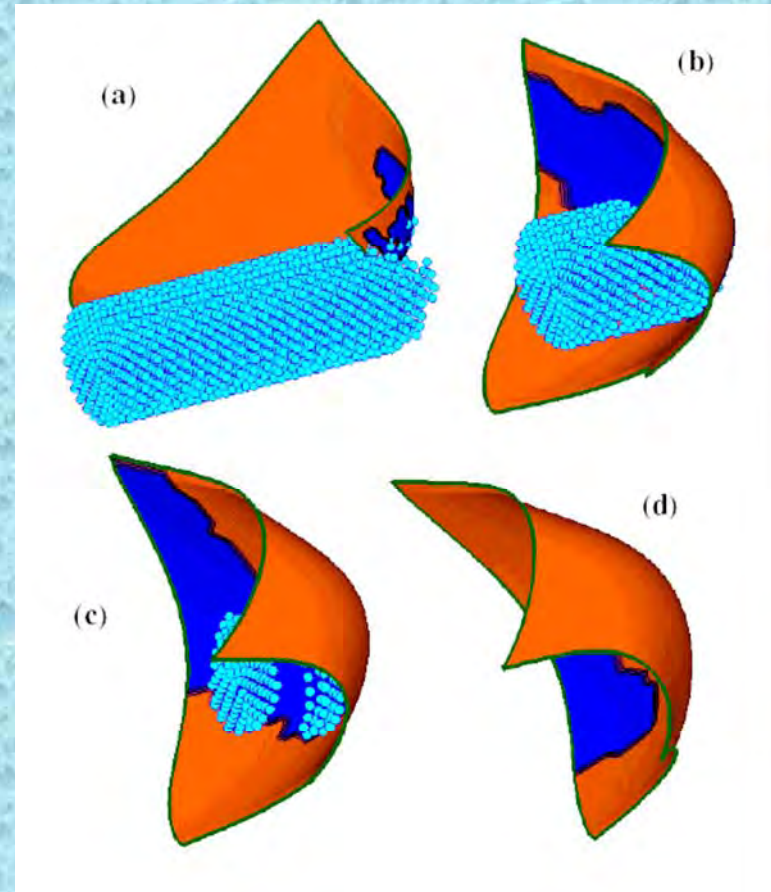
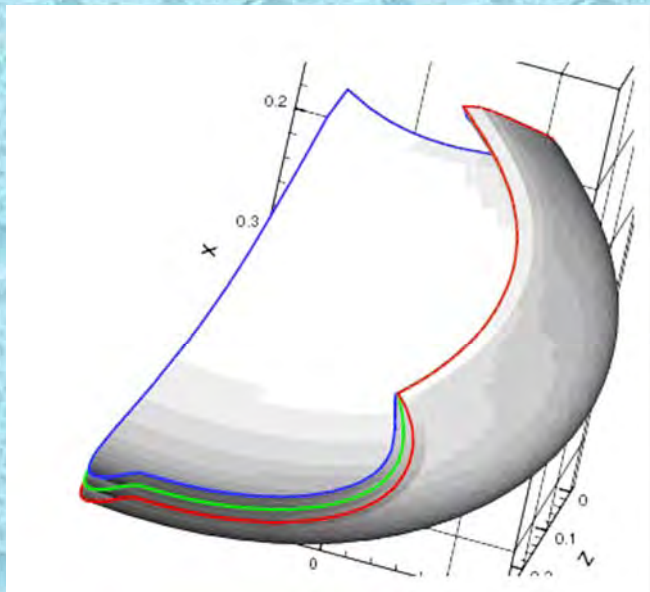


«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων» Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος





Εφαρμογή σε υδροστρόβιλο Turgo





«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος

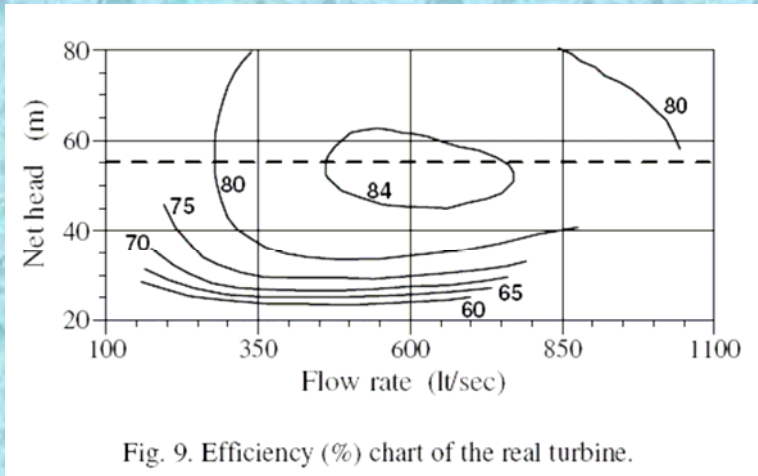
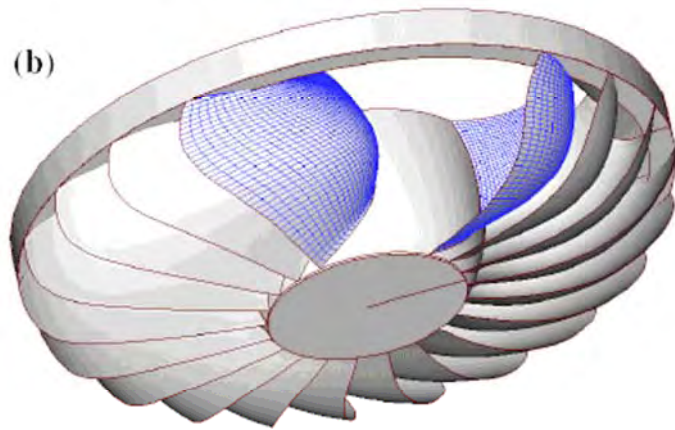
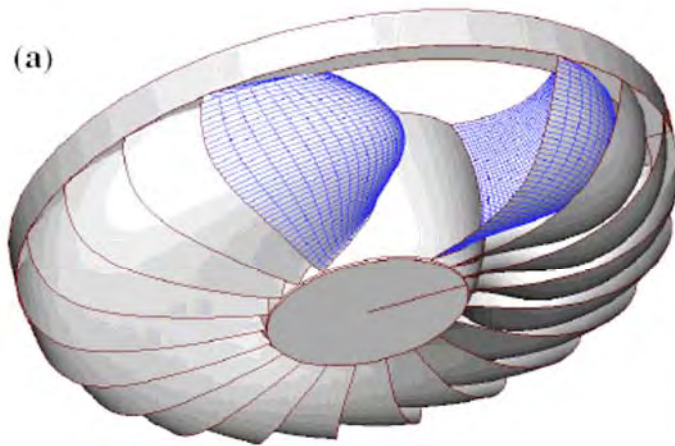


Fig. 9. Efficiency (%) chart of the real turbine.

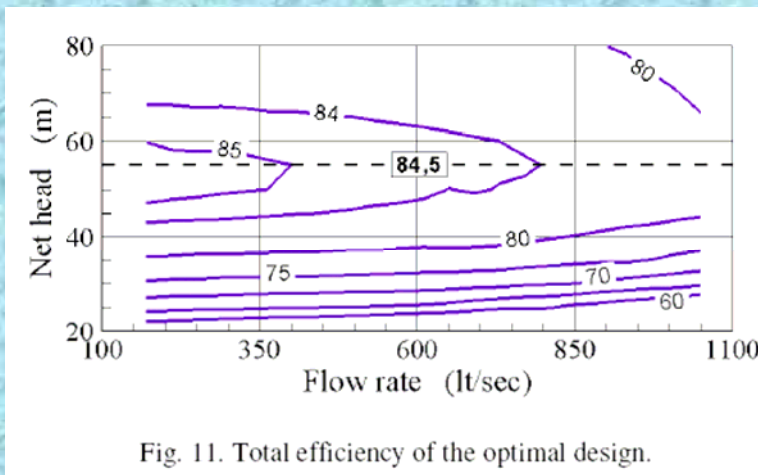
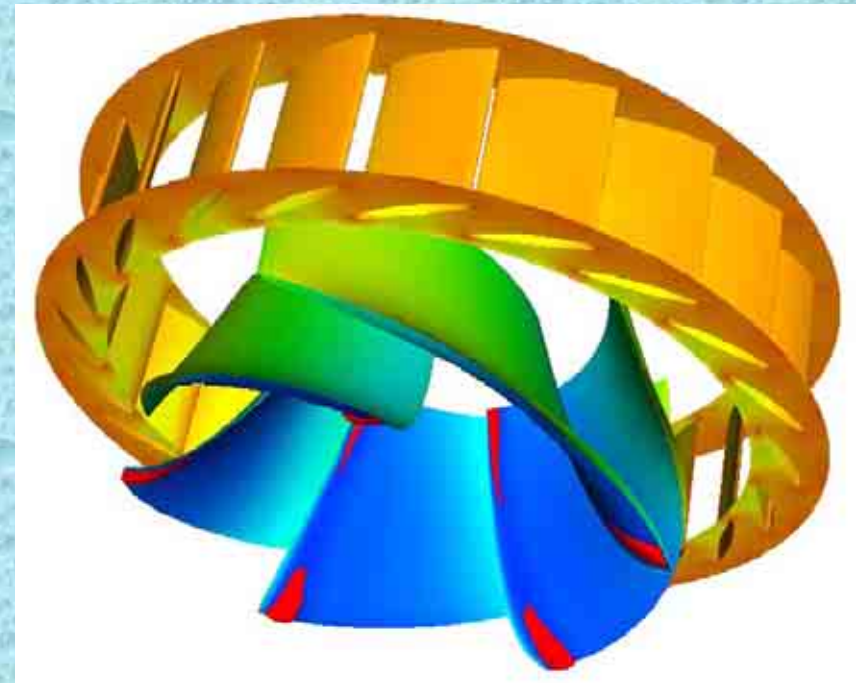
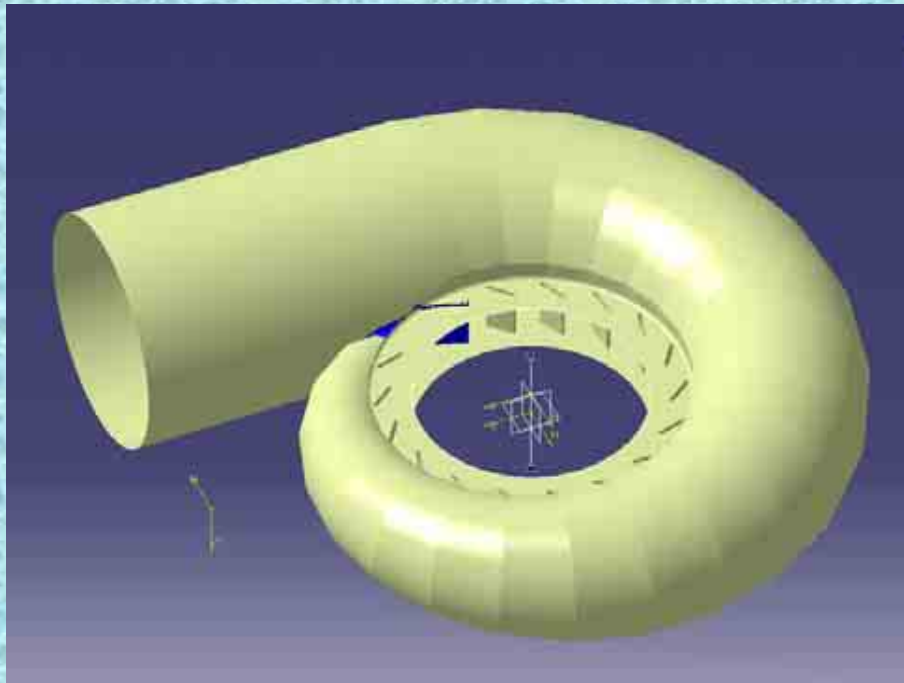


Fig. 11. Total efficiency of the optimal design.



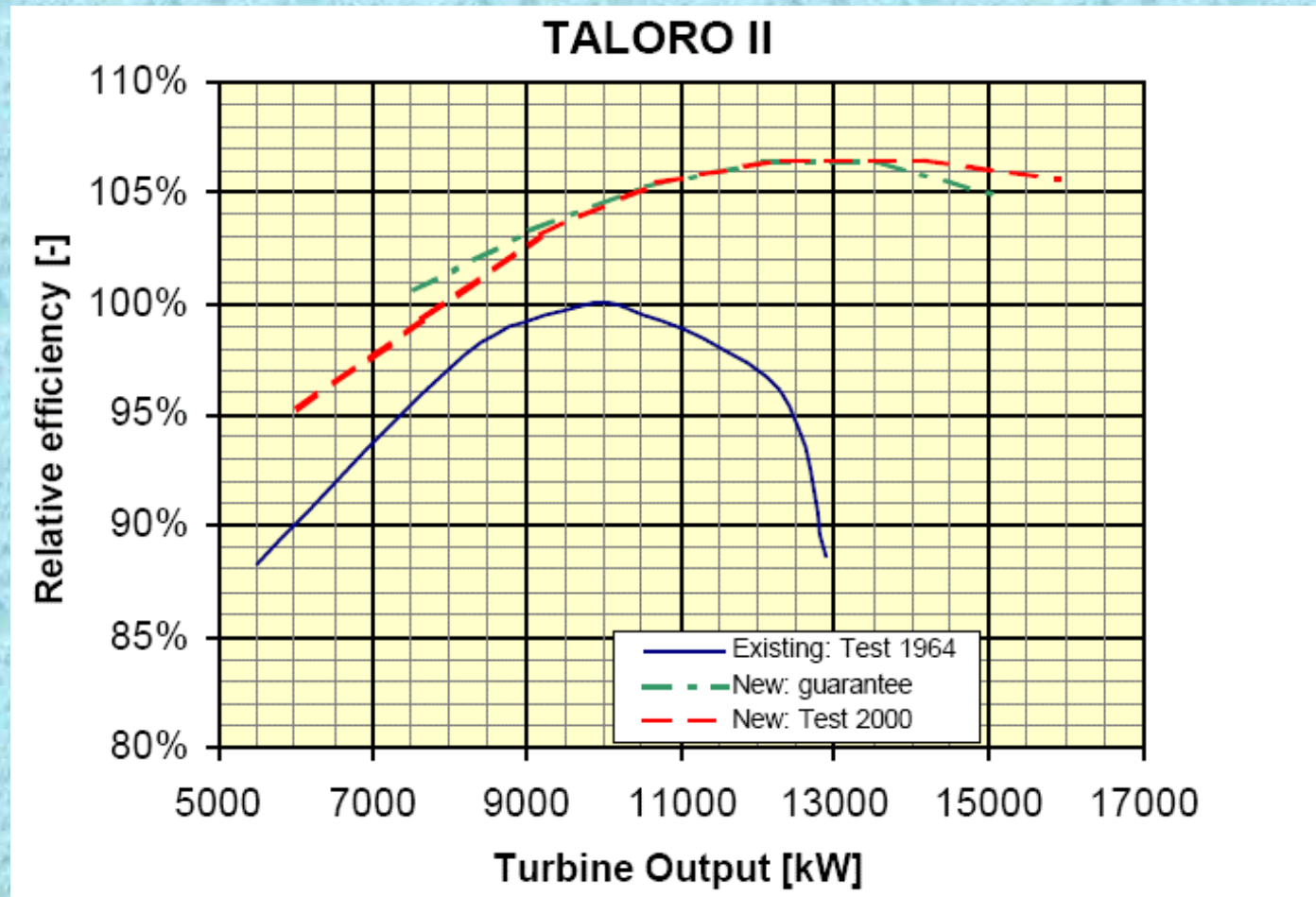
Εφαρμογή σε υδροστρόβιλο Francis





«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος

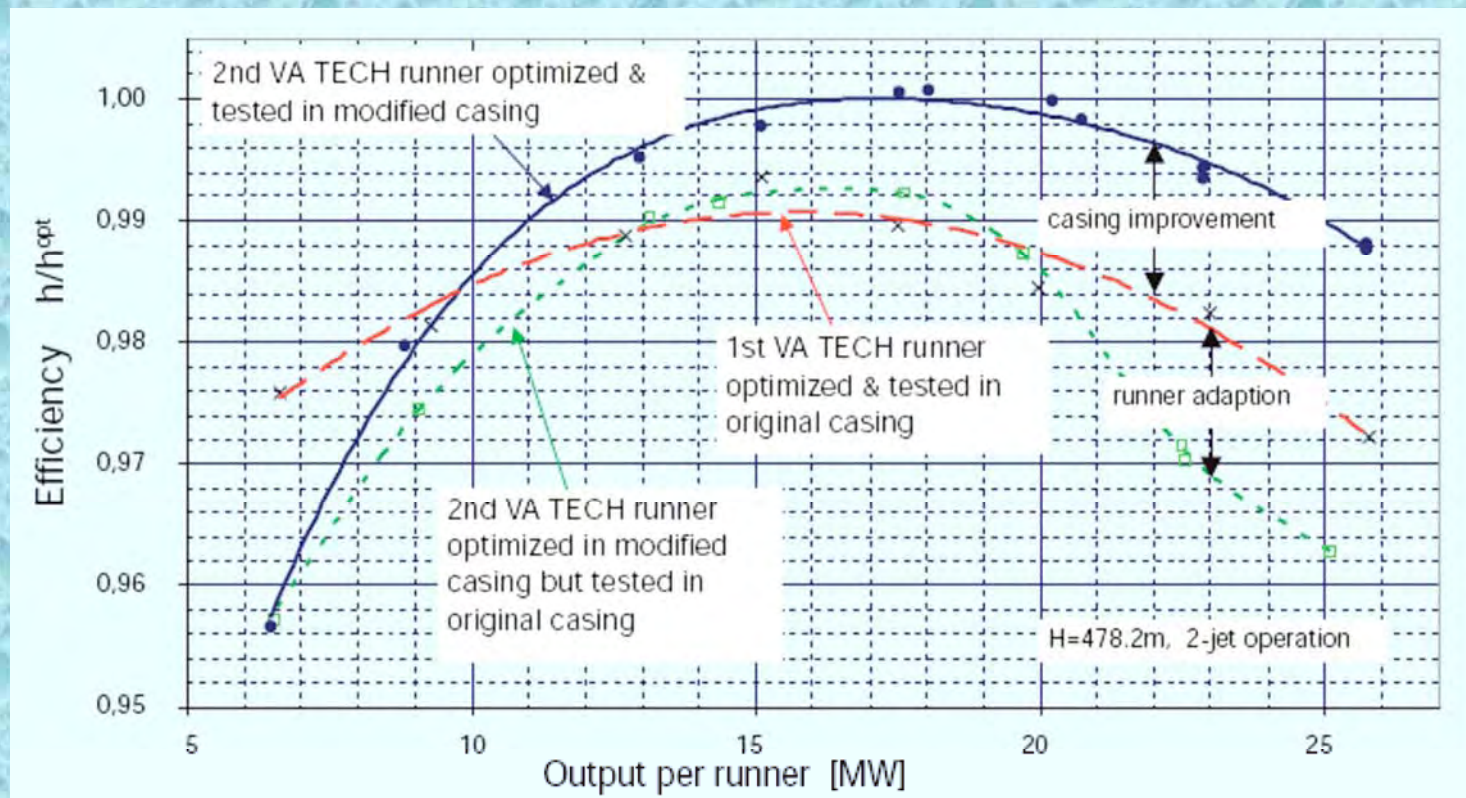
Αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου βελτιστοποίησης της σχεδίασης σε παλαιό υδροστρόβιλο Francis





«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροτροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος

Αποτελέσμα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας βελτιστοποίησης της γεωμετρίας σε υδροστρόβιλο Pelton και διερεύνηση του ρόλου του κελύφους





**«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος**

Βελτιώσεις που αφορούν την Τεχνολογία Κατασκευής



Πρεσσαριστά πτερύγια Francis από ανοξείδωτο χάλυβα X4 Cr Ni 13.4



Σκαφίδια Pelton από υλικό περισσότερο ανθεκτικό (και ακριβό) στις ζώνες υψηλής φόρτισης



**«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος**

- Οι εταιρείες κατασκευής μικρών υδροστροβίλων θα συνεχίσουν να βελτιώνουν τα προϊόντα τους ώστε να γίνονται περισσότερο ανταγωνιστικές
- Τα Πολυτεχνεία θα συνεχίσουν να μελετούν και να αναπτύσσουν μεθοδολογίες ανάλυσης σε συνεργασία με τις κατασκευαστικές εταιρείες
- Ο επενδυτής ενός μικρού ΥΗΕ θα πρέπει να επιλέγει τον υδροστρόβιλο που θα αξιοποιεί με τον καλύτερο μία συγκεκριμένη υδατόπτωση. Μεγαλύτερη σημασία στην παραγωγή ενέργειας έχει η σωστή επιλογή του μεγέθους του υδροστροβίλου και του εύρους λειτουργίας παρά η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης που αυτός επιτυγχάνει



NTUA, Laboratory of Hydraulic Turbomachines

**«Τεχνολογία και Προοπτικές εξέλιξης μικρών υδροστροβίλων»
Δημήτριος Παπαντώνης και Ιωάννης Αναγνωστόπουλος**

