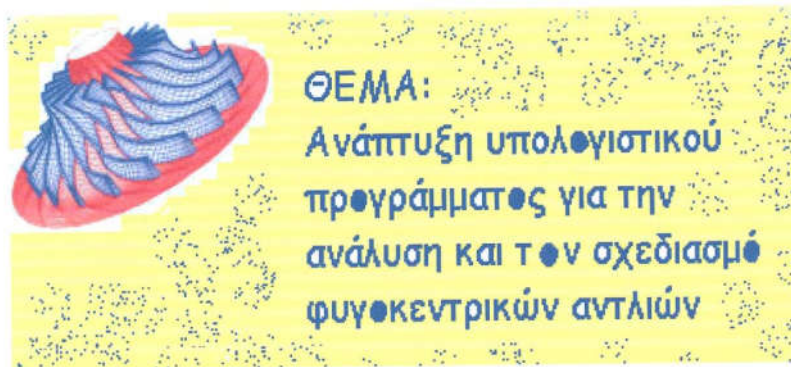


## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:  
**ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΠΑΡΑΣΧΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
**Επίκουρος Καθ. ΤΟΥΡΛΙΔΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

ΚΟΖΑΝΗ 2004

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ  
Αριθμ. Εισαγ.: 1356  
Ημερομηνία: 9/11/04

*Στη μητέρα μου*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αυτή η εργασία ήταν ιδέα του καθηγητή μου, κ. Δρ. Αντώνιου Τουρλιδάκη, τον οποίο νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω, τόσο για το θέμα που με ανέθεσε να κάνω, όσο και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου πρόσφερε για την διεκπεραίωση της εργασίας.

Για αυτήν την εργασία, ξόδεψα αρκετές ώρες διαβάζοντας βιβλία για στροβιλομηχανές και ιδιαίτερα για αντλίες. Εκτός από αυτό, αφιέρωσα αρκετό χρόνο για την εκμάθηση της Visual Basic, γλώσσας στην οποία δημιουργήθηκε το πρόγραμμα της εργασίας μου. Και τέλος ασχολήθηκα αρκετούς μήνες για την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας, με της οποίας την ολοκλήρωση τερματίζω τη φοιτητική μου ζωή.

Για όλη αυτήν την προσπάθεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη μου την οικογένεια, και ειδικά τη μητέρα μου, για τη ψυχολογική στήριξη που με πρόσφεραν όχι μόνο το διάστημα που ασχολήθηκα με την εργασία αυτή, αλλά και για όλη μου τη φοιτητική ζωή που είχε διάρκεια 5 χρόνια!!! Άλλωστε χωρίς αυτούς, δεν θα ήμουν αυτό είμαι τώρα... ένας εκκολλημένος μηχανικός!

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, που με βοήθησαν σε θέματα Visual Basic.

Οκτώβριος 2004

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	6
1.1.Ιστορική ανασκόπηση.....	7
1.2.Βασικές έννοιες.....	8
1.3.Κατάταξη των αντλιών.....	8
1.4.Είδη φυγοκεντρικών αντλιών.....	9
1.5.Πώς είναι μια φυγοκεντρική αντλία;.....	11
1.6.Το ολικό ύψος.....	11
1.7.Το άθροισμα όλων των απωλειών ύψους.....	11
1.8.Χαρακτηριστικά στοιχεία αντλιών.....	12
1.9.Εγκατάσταση αντλιών.....	12
1.10.Λειτουργία.....	13
1.11.Εγκαταστάσεις άντλησης από φρέατα.....	15
1.12.Κυκλοφορητές.....	16
1.13.Πιεστικό δοχείο στην εγκατάσταση ύδρευσης.....	17
1.14.Εγκαταστάσεις αντλιών σε συστήματα αποστράγγισης ή αποχέτευσης... ..	17
1.15.Εγκαταστάσεις πυρόσβεσης.....	18
1.16.Στόχος εργασίας.....	19
Βιβλιογραφία εισαγωγής.....	20
<b>2.ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ</b> .....	21
2.1.Αρχή διατήρησης της μάζας.....	22
2.2.Αρχή διατήρησης της ορμής.....	24
2.3.Το θεώρημα της στροφορμής.....	26
2.4.Οι εξισώσεις του Euler.....	27
2.5.Τρίγωνα ταχυτήτων.....	29
2.6.Αρχή διατήρησης της ενέργειας.....	33
2.7.2 <sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός νόμος.....	34
Βιβλιογραφία κεφαλαίου.....	36
<b>3.ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ</b> .....	37
3.1.Φυγοκεντρικές στροβιλομηχανές.....	38



3.2.Εισαγωγή στις φυγοκεντρικές αντλίες.....	38
3.3.Τρίγωνα ταχυτήτων του δρομέα.....	39
3.4.Το έργο στον δρομέα.....	39
3.5.Απόκλιση ροής στην έξοδο.....	40
Βιβλιογραφία κεφαλαίου.....	44
<b>4.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>45</b>
4.1.Ανάλυση.....	46
4.2.Σχεδιασμός.....	52
<b>5.ΔΟΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>57</b>
5.1.Είσοδος προγράμματος.....	58
5.2.Ανάλυση.....	59
5.3.Σχεδιασμός.....	66
<b>6.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>69</b>
<b>7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>85</b>
7.1.Χαρακτηριστικές καμπύλες.....	86
7.2.Σύγκριση ιδεατής-πραγματικής ροής.....	87
7.3.Αποτελέσματα σχεδιασμού.....	88
7.4.Προεκτάσεις.....	88
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>89</b>

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:**  
**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Ιστορική ανασκόπηση<sup>[1]</sup>

Οι αντλίες για την άντληση νερού επινοήθηκαν πριν από τις κινητήριες μηχανές. Τα βασικά εξαρτήματα των αντλιών αυτών ήταν δοχεία, τα οποία βυθιζόταν μέσα στο νερό και μετά ανυψωνόταν με τη βοήθεια απλών μηχανών.

Η επινοήση του ανυψωτικού τροχού πρέπει να θεωρηθεί σαν ένα σημαντικό βήμα προόδου στην άντληση νερού για άρδευση. Στην περιφέρεια ενός μεγάλου τροχού ήταν τοποθετημένα δοχεία, που βυθίζονταν στο νερό, γέμιζαν και καθώς ο τροχός περιστρεφόταν, ανέρχονταν και άδειαζαν μέσα στο αυλάκι αρδευσεως. Ως ενέργεια για την περιστροφή του τροχού χρησιμοποιήθηκε η ανθρώπινη ή ζωική δύναμη και η δύναμη του ανέμου. Αργότερα ο ανυψωτικός τροχός μετατράπηκε σε «αυτοκινητούμενο» με την προσθήκη πτερυγίων στην περιφέρεια του. Καθώς το νερό των ποταμών έρεε, ωθούσε τα πτερύγια και ο τροχός περιστρεφόταν για την ανύψωση των δοχείων. Άλλες διατάξεις για άντληση του νερού ήταν ο κοχλίας, η αλυσίδα με βύσματα και η χειροκίνητη παλινδρομική αντλία (τουλούμπα).

Εφευρέτης της φυγόκεντρου αντλίας θεωρείται ο Γάλλος Denis Papin, που το 1687 περιέγραψε έναν τύπο αντλίας, της οποίας η αρχή λειτουργίας ήταν η ίδια με τις σημερινές φυγόκεντρος αντλίες. Το 1705 κατασκεύασε ο ίδιος την πρώτη φυγόκεντρο αντλία για άντληση νερού. Αργότερα κατασκευάστηκαν και άλλες φυγόκεντροι αντλίες με μικρές βελτιώσεις, αλλά ο βαθμός απόδοσής τους ήταν πολύ μικρός. Το 1875 ο Osborne Reynolds κατασκεύασε την πρώτη στροβιλαντλία (turbine pump), που είχε σημαντικά αυξημένη απόδοση.

Από το 1840 άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι ατμομηχανές για την κίνηση των αντλιών όταν ο H. Worthington κατασκεύασε μια παλινδρομική αντλία, της οποίας το έμβολο ήταν συνδεδεμένο απευθείας με το έμβολο της ατμομηχανής. Νέα ώθηση στην εξέλιξη των αντλιών και την επινοήση νέων τύπων έδωσε η εμφάνιση των κινητήρων εσωτερικής καύσεως. Επίσης οι αεριοστρόβιλοι (steam turbines) και οι ηλεκτροκινητήρες, που δίνουν μεγάλο αριθμό στροφών και σταθερή ροπή, συντέλεσαν στην ταχεία εξέλιξη των φυγόκεντρικών αντλιών και την εκτόπιση των

παλινδρομικών, εκτός από τις περιπτώσεις που επιζητείται υψηλή πίεση και μικρή παροχή. Παράλληλα αναπτύχθηκαν οι περιστροφικές αντλίες για μικρές παροχές για μέση πίεση ιδίως για υγρά με μεγάλο ιξώδες.

## 1.2. Βασικές έννοιες<sup>[1]</sup>

*Αντλίες* ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία είναι δυνατό να μεταφερθεί μία ποσότητα υγρού από μία υψομετρική στάθμη σε άλλη που βρίσκεται υψηλότερα ή από ένα χώρο χαμηλής πίεσεως σε άλλο υψηλής πίεσεως. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι αντλίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών από υψηλότερη στάθμη σε χαμηλότερη, όταν ο σωλήνας μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ή όταν η υδραυλική αντίσταση μέσα στο σωλήνα είναι πολύ μεγάλη. Οι αντλίες τοποθετούνται πάντοτε μεταξύ των σημείων παραλαβής και αποστολής του υγρού και η μεταφορά του οφείλεται στη δημιουργία διαφοράς πίεσεως στις δύο πλευρές του κινουμένου στοιχείου της αντλίας (έμβολο ή περιστρεφόμενος δρομέας).

*Σωλήνας αναρροφήσεως* είναι το τμήμα του σωλήνα, από το σημείο παραλαβής του υγρού μέχρι την είσοδό του στην αντλία.

*Σωλήνας καταθλίψεως* είναι το τμήμα του σωλήνα, από το σημείο εξόδου του υγρού από την αντλία μέχρι το σημείο αποστολής του.

*Σωληνογραμμή* είναι το σύνολο των σωλήνων μέσα από τους οποίους ρέει το υγρό.

*Αντλητικό συγκρότημα* είναι ένα σύνολο αντλιών (μαζί με τον κινητήρα) που συνεργάζεται για την άντληση του υγρού.

## 1.3. Κατάταξη των αντλιών<sup>[1]</sup>

Οι αντλίες διαίρονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως στο σωλήνα αναρροφήσεως στο σωλήνα καταθλίψεως:

α) Αντλίες μετατοπίσεως ή αντλίες στατικού τύπου (Positive displacement pumps) και

β) Αντλίες δυναμικές ή αντλίες κινητικού τύπου (Rotodynamic pumps).

Οι αντλίες μετατόπισης ή στατικού τύπου κατά τη λειτουργία τους μετατοπίζουν θετικά το υγρό και η παροχή τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς. Οι αντλίες αυτές διακρίνονται σε:

- Παλινδρομικές αντλίες (Reciprocating pumps) και
- Περιστροφικές αντλίες (Rotary pumps)

Οι δυναμικές αντλίες ή κινητικού τύπου κατά τη λειτουργία τους μεταβάλλουν την κινητική κατάσταση του υγρού, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση και αντίστροφα. Η παροχή τους επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς και από άλλα χαρακτηριστικά της ροής του υγρού. Υπάρχουν δύο τύποι δυναμικών αντλιών:

- Φυγοκεντρικές αντλίες ή κεντρόφυγες (Centrifugal pumps) και
- Στροβιλαντλίες (Turbine pumps).

#### 1.4. Είδη φυγοκεντρικών αντλιών:<sup>[1]</sup>

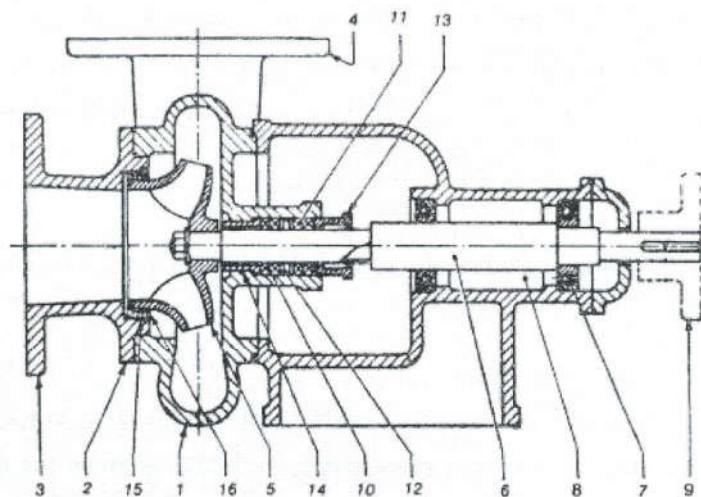
α) Φυγόκεντροι αντλίες ή ακτινικής ροής (Centrifugal pumps). Είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται περισσότερο. Το σχήμα των πτερυγίων και η διάταξή τους είναι τέτοια ώστε το υγρό που εισέρχεται στο περίβλημα «αξονικώς» να κινείται και εξέρχεται κάθετα προς τον άξονα δηλαδή «ακτινικώς». Το περίβλημα είναι σπειροειδούς μορφής (σαλίγκαρος) και περιλαμβάνει αγωγό συνεχώς αυξανόμενης διατομής έτσι ώστε η ταχύτητα κινήσεως του υγρού να μειώνεται προοδευτικά, η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται σε στατική πίεση. Για μεγάλες πιέσεις τοποθετούνται περισσότερες πτερωτές «εν σειρά» μέσα σε ένα περίβλημα (πολυβάθμιοι αντλίες, multistage pumps). Το περίβλημα των πολυβάθμιων αντλιών μπορεί να είναι σπειροειδούς μορφής ή σταθερής διατομής με οδηγούς ροής.

β) Μικτής ροής (Mixed flow pumps). Τα πτερύγια είναι τοποθετημένα υπό γωνία ως προς τον άξονα περιστροφής. Το υγρό εισέρχεται «αξονικώς» και κινείται συγχρόνως «αξονικώς» και «ακτινικώς» (μικτή ροή). Όταν η έξοδος του υγρού είναι ακτινική η αντλία ονομάζεται ελικοειδής, ενώ όταν είναι αξονική ονομάζεται



διαγώνια. Η αύξηση της πίεσεως του υγρού προέρχεται κατά ένα μέρος από τη φυγόκεντρη δύναμη και κατά ένα μέρος από την ανυψωτική δράση των περυγίων. Η διάμετρος της περωτής στην είσοδο του υγρού είναι μικρότερη από τη διάμετρό της στην έξοδο.

γ) *Αξονικής ροής* (Axial flow pumps). Η περωτή έχει σχήμα έλικας για αυτό ονομάζονται και ελικοφόροι αντλίες. Το υγρό εισέρχεται, κινείται και εξέρχεται «αξονικά». Η αύξηση της πίεσεως προέρχεται από την ανυψωτική δράση της έλικας που πάντοτε είναι βυθισμένη μέσα στο υγρό.



Σχ. Σχηματικό διάγραμμα μονοβάθμιας φυγοκέντρου αντλίας

- 1 Σπειροειδές περιβλήμα (σαλήκαρος)
- 2 Κάλυμμα του σπειροειδούς περιβλήματος
- 3 Φλάντζα στομίου εισόδου
- 4 Χοάνη καταθλίψεως (έξοδος του υγρού)
- 5 Περωτή
- 6 Άξονας της αντλίας
- 7 Τριβίας (ένσφαιρος ή κουζινέτο)
- 8 Θάλαμος λαδιού
- 9 Συνδετήρας της αντλίας με τον κινητήρα
- 10 Σαλαμάστρα (εσωτερικό τμήμα)
- 11 Σαλαμάστρα (εξωτερικό τμήμα)
- 12 Δακτύλιος υδρολιπάνσεως της σαλαμάστρας (φανάρι)
- 13 Στυπιοθλίπτης
- 14 Δακτυλιοειδής τριβείας
- 15 Δακτύλιος στεγανόσεως του σπειροειδούς περιβλήματος
- 16 Δακτύλιος στεγανόσεως της περωτής

### **1.5. Πώς είναι μια απλή φυγοκεντρική αντλία;<sup>[2]</sup>**

*Οι φυγοκεντρικές αντλίες αποτελούνται βασικά από τα ακόλουθα τεμάχια: το κέλυφος (σπειροειδές ή μικτού τύπου), την περωτή με τα σταθερά ή κινητά περύγια (ανοικτή, κλειστή, ημίκλειστη ή κλειστή διπλής εισόδου), τους στυπιοθλίπτες, τους τριβείς, τα έδρανα, τις βάσεις στερέωσης, τις φλάντζες σύνδεσης κτλ. Ανάλογα με τον αριθμό των περωτών που έχει μια αντλία ονομάζεται μονοβάθμια, διβάθμια κ.ο.κ. Στις πολυβάθμιες αντλίες το υγρό από την πρώτη περωτή ρέει στη δεύτερη με αύξηση της πίεσής του, με συνέπεια να εξασφαλίζεται η δυνατότητα διακίνησης του υγρού σε μεγάλες αποστάσεις ή αντίστοιχα σε μεγάλο ύψος. Για τη μέτρηση της κινητικής ενέργειας που δημιουργεί μια αντλία που διακινεί ένα μη ιξώδες ρευστό χρησιμοποιείται ο όρος ολικό ύψος.*

### **1.6. Το ολικό ύψος αποτελείται από τα ακόλουθα μεγέθη:<sup>[2]</sup>**

Το μέτρο της υψομετρικής διαφοράς της υγρής στήλης μεταξύ των επιφανειών του υγρού της δεξαμενής αναρρόφησης και της δεξαμενής κατάθλιψης ή το κέντρο της διατομής εξόδου σε περίπτωση που ο σωλήνας είναι πάνω από τη δεξαμενή κατάθλιψης.

Το ύψος της διαφοράς πίεσης μεταξύ των επιφανειών υγρού αναρρόφησης και κατάθλιψης στα κλειστά συστήματα (μηδέν στα ανοικτά συστήματα).

### **1.7. Το άθροισμα όλων των απωλειών ύψους<sup>[2]</sup>**

Είναι το ύψος διαφοράς ταχύτητας στις διατομές εισόδου και εξόδου της εγκατάστασης. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται ο όρος ύψος αντί για τον όρο πίεση προκειμένου να μετρηθεί η ενέργεια μιας φυγοκεντρικής αντλίας είναι ότι ενώ η πίεση μεταβάλλεται αν αλλάξει το ειδικό βάρος του υγρού, το ύψος δεν αλλάζει. Έτσι η απόδοση των αντλιών που διακινούν μη ιξώδη ρευστά αποδίδεται με τον όρο ύψος ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για βαρύ ή ελαφρύ ρευστό. Ιδιαίτερα



σημαντικά στοιχεία που επηρεάζουν το ύψος μιας αντλίας αποτελούν η διάμετρος της πτερωτής και ο αριθμός στροφών του κινητήρα της ανά λεπτό.

### 1.8. Χαρακτηριστικά στοιχεία αντλιών<sup>[2]</sup>

Στα χαρακτηριστικά στοιχεία για την επιλογή μιας φυγοκεντρικής αντλίας είναι τα ακόλουθα:

- *Η παροχή της αντλίας*, δηλαδή ο χρήσιμος όγκος του νερού που αποδίδεται στο στόμιο κατάθλιψης και αναφέρεται συνήθως σε  $m^3/h$ .
- *Το μέγεθος της αντλίας που χαρακτηρίζεται από τις διαμέτρους των στομιών εισαγωγής - εξαγωγής σε ίντσες ή σε χιλιοστά (π.χ. 1- x 3 -6 σε ίντσες ή 40 x 125 σε χιλιοστά) που σχετίζονται με την ισχύ της.*
- *Το ολικό ύψος σε μέτρα για το οποίο ισχύει ό,τι αναφέρεται πιο πάνω με τη διαφοροποίηση της περίπτωσης ανοικτού και κλειστού συστήματος.*
- *Η ισχύς του κινητήρα*, που πρέπει να διαθέτει και κάποιο περιθώριο ασφάλειας σε σύγκριση με την ισχύ της αντλίας ιδιαίτερα αν αναμένονται διακυμάνσεις της ροής.
- *Ο αριθμός στροφών ανά λεπτό.* Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται επαγωγικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, ο αριθμός των στροφών είναι συνήθως 2900, 1450 κτλ. και αντίστροφα ανάλογος με τον αριθμό των πόλων του κινητήρα.
- *Οι καμπύλες λειτουργίας*, που αποδίδουν γραφικά τη μεταβολή των χαρακτηριστικών μεγεθών των αντλιών δηλαδή της παροχής και του ολικού ύψους, του βαθμού απόδοσης, του καθαρού θετικού ύψους κατάθλιψης, της ισχύος κτλ.

### 1.9. Εγκατάσταση αντλιών<sup>[2]</sup>

Οι αντλίες πρέπει να εγκαθίστανται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Στο σύστημα πρέπει να εξασφαλίζεται δικλίδα εξαερισμού και κάτω

στην οριζόντια πλευρά της αντλίας, σύνδεση εκκένωσης. Στο σύστημα και στην πλευρά αναρρόφησης θα πρέπει να περιλαμβάνεται η κατάλληλη δικλίδα εισόδου σε σειρά με φίλτρο. Οι σωληνώσεις που συνδέονται με τις αντλίες θα πρέπει να στερεώνονται σταθερά ώστε να μην επηρεάζουν με το βάρος τους τα μέρη των αντλιών. Στην περίπτωση που οι σωληνώσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης είναι πάνω από 100 χιλ. θα πρέπει να στηρίζονται κατάλληλα οι διασυνδετικές γωνίες. Κατά τη λειτουργία θα πρέπει να ελέγχονται οι θερμοκρασίες των υγρών που διακινούνται και να είναι σε ανεκτά όρια, κατάλληλα για κάθε συγκεκριμένο τύπο αντλίας, να εξασφαλίζεται ότι δε σχηματίζονται ατμοί και σπηλαίωση, ότι δεν υπερφορτώνονται σε παράλληλη ή ατομική λειτουργία και ότι λειτουργούν στο 25% της μέσης τιμής της καμπύλης μέγιστης απόδοσης. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ευθυγραμμίζεται και να επαληθεύεται η ευθυγράμμιση της βάσης έδρασης της αντλίας πριν από την εκκίνηση.

### 1.10. Λειτουργία<sup>[2]</sup>

Για τη σωστή λειτουργία των περιστροφικών αντλιών πρέπει να λαμβάνονται ορισμένα μέτρα είτε κατά την αρχική λειτουργία τους, είτε κατά περίπτωση. Έτσι:

- Πρέπει να ελέγχεται πριν από την αρχική λειτουργία η φορά περιστροφής του κινητήρα.
- Οι άξονες αντλίας και κινητήρα να είναι ευθυγραμμισμένοι.
- Να έχει εφαρμοστεί λίπανση στις θέσεις που απαιτείται και να ανανεώνεται ανά δίμηνο.
- Στην αναρρόφηση πρέπει να τοποθετείται φίλτρο.
- Να χρησιμοποιούνται για υγρά που δεν περιλαμβάνουν στερεά σε αιώρηση.
- Να συσφίγγονται οι στυπιοθλίπτες ώστε να μην εμφανίζονται διαρροές.
- Να μη λειτουργεί η αντλία χωρίς υγρό.
- Αν η αντλία δε λειτουργεί για ένα χρονικό διάστημα θα πρέπει να περιστρέφεται από το σύνδεσμο.

Προκειμένου να λειτουργήσουν ικανοποιητικά σε πλήρη λειτουργία οι αντλίες και ιδιαίτερα οι φυγοκεντρικές, απαιτείται όπως αφαιρείται ο αέρας από τη σωλήνωση αναρρόφησης και την αντλία έτσι ώστε να είναι πλήρεις από το υγρό που

θα διακινήσουν. Η αφαίρεση του αέρα ή αερίων μπορεί να γίνει είτε με ενέργεια των χρηστών, είτε αυτόματα. Ιδιαίτερη σημασία για τη διαδικασία αφαίρεσης του αέρα έχει η θέση της αποθήκης νερού ή υγρού. Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Το υγρό ρέει από το πάνω μέρος της αντλίας, δηλαδή η στάθμη της δεξαμενής είναι πάνω από την αντλία.
- Η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης είναι πιο χαμηλά από την αντλία.

Στην πρώτη περίπτωση κατά την αρχική λειτουργία γεμίζεται η δεξαμενή και η σωλήνωση αναρρόφησης με το νερό που θα προωθηθεί και δεδομένου ότι διατηρείται η κατάλληλη πίεση, το υγρό θα εισρεύσει στο κέλυφος της αντλίας. Στη συνέχεια, μετά το κλείσιμο της δικλίδας κατάθλιψης και το άνοιγμα της δικλίδας εξαέρωσης, ο αέρας θα εξέλθει στην ατμόσφαιρα. Μετά την εξαέρωση κλείνεται η δικλίδα εξαέρωσης και η αντλία τίθεται σε λειτουργία μέχρι να φτάσει στην επιθυμητή πίεση, οπότε ανοίγεται η δικλίδα κατάθλιψης. Προϋπόθεση κανονικής λειτουργίας του συστήματος είναι η σταθερή παροχή υγρού από τη δεξαμενή που πρέπει να είναι συνεχώς πλήρης ώστε να μην εμφανίζεται αέρας στην αντλία. Στην περίπτωση που η στάθμη νερού στο δοχείο αναρρόφησης είναι πιο κάτω από την αντλία το γέμισμα μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους:

- Με μια ποδοβαλβίδα βυθισμένη στο υγρό στο κάτω μέρος του σωλήνα αναρρόφησης.
- Με προσαρμογή ενός δοχείου κενού στο σωλήνα αναρρόφησης.
- Με μια αντλία κενού που συνδέεται στο σωλήνα αναρρόφησης σε συνδυασμό με δοχείο κενού ή όχι.
- Με τη χρήση μιας αντλίας που γεμίζεται μόνη της.

Όταν χρησιμοποιείται ποδοβαλβίδα στο κάτω μέρος του σωλήνα αναρρόφησης, αυτή ανοίγει μόνο όταν το υγρό τρέχει προς την αντλία. Για την αρχική λειτουργία γεμίζεται από το χωνί πλήρωσης η αντλία και ο σωλήνας κατάθλιψης με το υγρό που θα αντληθεί (με ανοικτές τη δικλίδα κατάθλιψης και τη δικλίδα εξαέρωσης). Η ποδοβαλβίδα πρέπει να είναι τελείως κλειστή ώστε να εμποδίζει τη διαρροή υγρού στη δεξαμενή αναρρόφησης. Μετά την πλήρωση του συστήματος αντλίας και σωληνώσεων και την εξαέρωση από τη σχετική δικλίδα μπορεί να αρχίσει η λειτουργία της αντλίας. Όταν σταματήσει η αντλία τότε το



κέλυφος της αντλίας και οι σωληνώσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης θα παραμείνουν πλήρεις υγρού γιατί η ποδοβαλβίδα κλείνει και παραμένει σφραγισμένη.

Όταν το υγρό περιέχει ακαθαρσίες, που μπορεί να επικαθίσουν στην ποδοβαλβίδα, τότε η διάταξη της ποδοβαλβίδας δεν κλείνει πλήρως με αποτέλεσμα να εμφανίζεται διαρροή του υγρού από το σωλήνα αναρρόφησης όταν σταματά η λειτουργία της αντλίας.

Όταν η πλήρωση της αντλίας γίνεται με τη χρήση δοχείου κενού που βρίσκεται μεταξύ της αντλίας και της σωλήνωσης αναρρόφησης χωρίς τη χρήση αντλίας κενού τότε η σύνδεση της σωλήνωσης αναρρόφησης πρέπει κατά προτίμηση να είναι στο πάνω μέρος του δοχείου και η σύνδεση της αντλίας στο κάτω μέρος του δοχείου. Η χωρητικότητα του δοχείου εξαρτάται από τη χωρητικότητα της σωλήνωσης αναρρόφησης.

Η πλήρωση για την αρχική εκκίνηση της αντλίας γίνεται με το χωνί πλήρωσης από το άνω μέρος του δοχείου κενού με ανοικτές τις βαλβίδες αναρρόφησης και εκκένωσης. Το δοχείο και η αντλία γεμίζονται μέχρις ότου η στάθμη του υγρού φτάσει ακριβώς κάτω από τη γραμμή αναρρόφησης.

Μια σωλήνωση εξαερισμού είναι απαραίτητη για την πρόληψη της δημιουργίας θυλάκων αέρα. Πριν αρχίσει η λειτουργία της αντλίας είναι απαραίτητο να κλείσει η δικλίδα κάτω από το χωνί πλήρωσης με υγρό. Με την εκκίνηση της αντλίας δημιουργείται κενό που οδηγεί τη στάθμη του υγρού στη σωλήνωση αναρρόφησης. Το υγρό αρχίζει να ρέει προς το δοχείο και από εκεί στην αντλία δημιουργώντας πάλι κενό που θα αναγκάσει και άλλο υγρό να εισρεύσει στο δοχείο κ.ο.κ.

Για να προληφθεί η εμφάνιση σιφονισμού, σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας της αντλίας, απαιτείται η σύνδεση του δοχείου κενού με τη σωλήνωση κατάθλιψης. Κατά τον τρόπο αυτό η αντλία και το δοχείο κενού παραμένουν πλήρη με υγρό μετά τη διακοπή λειτουργίας της αντλίας.

### **1.11. Εγκαταστάσεις άντλησης από φρέατα<sup>12]</sup>**

Είναι δυνατό σε ορισμένες αγροτικές ιδιαίτερα περιοχές να εξασφαλίζεται ύδρευση από φρέατα περιορισμένου, μέσου ή μεγάλου βάθους. Ανάλογα με το βάθος

του φρέατος γίνεται επιλογή της κατάλληλης αντλίας που μπορεί να είναι μονοβάθμια ή πολυβάθμια. Ιδιαίτερη σημασία στη σωστή χρήση τους έχει η χρήση των κατάλληλων φίλτρων και η τήρηση σε καλή κατάσταση των βαλβίδων.

### 1.12. Κυκλοφορητές<sup>[2]</sup>

Στις κεντρικές θερμάνσεις και στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται αντλίες για την κυκλοφορία του θερμού ή του ψυχρού νερού. Η εξαναγκασμένη κυκλοφορία του θερμαντικού ή του ψυκτικού μέσου με τους κυκλοφορητές, όπως ονομάζονται οι αντλίες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις, περιορίζει τη διατομή των σωληνώσεων και αναγκάζει το μέσο θέρμανσης ή ψύξης να φτάνει και στα πιο ακραία σημεία με επαρκή ροή για ομοιόμορφο αποτέλεσμα. Η εξαναγκασμένη ροή πραγματοποιείται με έναν ή περισσότερους κυκλοφορητές. Βασικά στοιχεία που παρεμβαίνουν στην επιλογή των κατάλληλων κυκλοφορητών των εγκαταστάσεων είναι τα ακόλουθα:

- Η παροχή του μέσου που θα κυκλοφορήσει στην εγκατάσταση.
- Το μανομετρικό ύψος του κυκλοφορητή, δηλαδή οι τριβές και οι ειδικές αντιστάσεις που πρέπει να υπερνικήσει ο κυκλοφορητής για να εξασφαλίσει την κυκλοφορία του μέσου.

Η λειτουργία τους καθορίζεται συνήθως από θερμοστάτες που ρυθμίζονται ώστε να εξασφαλίζουν άνετες συνθήκες στους χώρους. Στις εγκαταστάσεις θέρμανσης οι κυκλοφορητές με κατάλληλη ρύθμιση του θερμοστάτη δε λειτουργούν αν η θερμοκρασία του νερού είναι κάτω από κάποιο όριο. Στο υδραυλικό κύκλωμα θέρμανσης ή ψύξης ο κυκλοφορητής διασυνδέεται σε ανοικτό κύκλωμα με τη χρήση δοχείου διαστολής ή σε κλειστό κύκλωμα με τη χρήση πιεστικού δοχείου. Οι κυκλοφορητές πρέπει να είναι αθόρυβοι και να μη δημιουργούν ή να μεταφέρουν φυσαλίδες. Οι ταχύτητες ροής στους κυκλοφορητές κυμαίνονται από 1,2 ως 2 m/sec. Σε εγκαταστάσεις μεγάλων αποστάσεων η ταχύτητα ροής μπορεί να φτάσει τα 3,5 m/sec.

### **1.13. Πιεστικό δοχείο στην εγκατάσταση ύδρευσης<sup>[2]</sup>**

Σε περιπτώσεις που η πίεση της παροχής νερού δεν είναι επαρκής ώστε να τροφοδοτηθούν σχετικά υψηλά κτίρια είναι αναγκαίο να αυξηθεί η πίεση του νερού με σύστημα αντλίας ή αντλιών που συνδέονται με πιεστικό δοχείο ή σε μεγάλες εγκαταστάσεις με πιεστικές δεξαμενές. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις επίσης, για την ανύψωση της πίεσης χρησιμοποιείται και αεροσυμπιεστής ανάλογης ισχύος, ενώ σε μικρές εγκαταστάσεις η ανύψωση της πίεσης εξασφαλίζεται με πεπιεσμένο αέρα που περιλαμβάνεται στο πιεστικό δοχείο. Το σύστημα περιλαμβάνει τις αντίστοιχες δικλίδες, όργανα μέτρησης της πίεσης, πρεσοστάτες, βαλβίδες αντεπιστροφής, ασφαλιστικά υπερπίεσης, κρουνούς εκκένωσης του πιεστικού κτλ. Ιδιαίτερη σημασία για την εγκατάσταση αυτόματου πιεστικού συστήματος έχει ο σωστός υπολογισμός που γίνεται με βάση τις καταναλώσεις που θα εξυπηρετηθούν, τις πιέσεις που πρέπει να αναπτυχθούν και τις τριβές που εμφανίζονται στο δίκτυο σωληνώσεων. Στην αγορά κυκλοφορούν πλήρεις προκατασκευασμένες πιεστικές εγκαταστάσεις.

### **1.14. Εγκαταστάσεις αντλιών σε συστήματα αποστράγγισης ή αποχέτευσης<sup>[2]</sup>**

Σε υπόγεια, που εμφανίζουν διείσδυση νερού από τα τοιχώματα ή το δάπεδο, κατασκευάζονται συνήθως φρεάτια συλλογής των αποστραγγίσεων. Στα φρεάτια αυτά εφαρμόζονται αντλίες, που η λειτουργία τους ελέγχεται με διακόπτες που ανοίγουν ή κλείνουν με πλωτήρες. Έτσι, αν ανέβει η στάθμη του νερού μέσα στο φρεάτιο, ο πλωτήρας θα κλείσει την επαφή λειτουργίας του κινητήρα της αντλίας με αποτέλεσμα να λειτουργήσει η αντλία που θα απομακρύνει το νερό, που θα έχει συγκεντρωθεί στο φρεάτιο.

Αν στο χώρο του υπογείου υπάρχει δυνατότητα να συγκεντρωθεί εκτός από το υγρό και λάσπη, καλό είναι όπως χρησιμοποιούνται διπλά φρεάτια. Η συγκέντρωση γίνεται στο πρώτο φρεάτιο όπου καθιζάνει το χώμα. Στο δεύτερο που επικοινωνεί με το πρώτο από υπερχειλίση εφαρμόζεται η αντλία. Έτσι το πρώτο φρεάτιο θα χρησιμοποιείται ως βορβοροσυλλέκτης που διαχωρίζει τη λάσπη και την άμμο.



Οποσδήποτε όμως είναι απαραίτητο όπως οι αντλίες, που θα χρησιμοποιηθούν, να διαθέτουν στο κάτω μέρος φίλτρο, για να αποφεύγεται η διακίνηση λάσπης.

Για την αποχέτευση λυμάτων με αντλίες είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται ειδικές αντλίες λυμάτων. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει στο σύστημα να περιλαμβάνονται οποσδήποτε ειδικοί συλλέκτες λυμάτων πριν από το χώρο εφαρμογής της αντλίας. Οι δυο χώροι δημιουργούν ένα είδος σηπτικής δεξαμενής συλλογής λυμάτων. Η αντλία εφαρμόζεται στο δεύτερο χώρο. Αν υπάρχει φόβος εμφάνισης στο χώρο της αντλίας και στερεών λυμάτων είναι αναγκαία η χρήση ειδικών σπαστήρων διάσπασης των στερεών λυμάτων. Οι αντλίες κατά τον τρόπο αυτό διαμορφώνουν ένα σύστημα πιεστικής αποχέτευσης που δεν επηρεάζεται από τη γραμμή. Σε συστήματα μικρών εγκαταστάσεων αποχέτευσης χρησιμοποιείται στεγανό σύστημα σπαστήρα σε συνδυασμό με αντλία ώστε το σύστημα να μεταφέρει στο δίκτυο αποχέτευσης υγρά λύματα. Σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαίο να εφαρμόζεται όπου απαιτείται ο κατάλληλος αερισμός του συστήματος και να διαμορφώνεται στάθμη υπερύψωσης για την αποφυγή αναστροφής των νερών των υπονόμων.

### **1.15. Εγκαταστάσεις πυρόσβεσης<sup>[2]</sup>**

Οι αντλίες σε εγκαταστάσεις πυρόσβεσης αποτελούν απαραίτητα στοιχεία, ιδιαίτερα στα κτίρια που διαθέτουν εγκαταστάσεις αυτόματου κατακλυσμού ή καταιονισμού (καταιονητήρες, σπρίνκλερ). Τα συστήματα πυρόσβεσης περιλαμβάνουν κύριες και βοηθητικές ηλεκτροκίνητες αντλίες που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο και πετρελαιοκίνητες ή βενζινοκίνητες αντλίες για την περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής παροχής. Τα συστήματα πυρόσβεσης αποτελούν πλέον συγκροτημένες προκατασκευές που διατίθενται ετοιμοπαράδοτες στο εμπόριο.



### 1.16. Στόχος της εργασίας

Με τη δημιουργία του υπολογιστικού προγράμματος σε περιβάλλον Visual Basic, ο μελλοντικός χρήστης θα διευκολύνεται στην ανάλυση και στον σχεδιασμό μιας αντλίας.

Με τα δεδομένα, που χρειάζεται ο χρήστης- μηχανικός, μπορεί να κάνει μια εις βάθος ανάλυση, αφού το πρόγραμμα του δίνει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις τιμές στα τρίγωνα ταχυτήτων στην είσοδο και έξοδο της αντλίας, καθώς μεταβάλλεται η παροχή του ρευστού. Το πρόγραμμα δεν σταματάει μόνο εκεί, αλλά συνεχίζει δίνοντας τις τιμές, που παίρνει η ισχύς  $N$ , η διαφορά πίεσεως  $\Delta p_0$  και το ολικό ύψος  $H_0$ . Έτσι ο χρήστης παρακολουθεί και με διαγράμματα ( $N-Q$ ,  $\Delta p_0-Q$ ,  $H_0-Q$ ) τη διακύμανση των τιμών, δίνοντας του μια πιο ξεκάθαρη εικόνα στην ανάλυση της αντλίας.

Δίνεται επίσης δυνατότητα να εξεταστεί η συμπεριφορά της αντλίας για ονομαστική παροχή και θεωρητικά αλλά και για πραγματική ροή. Για πραγματική ροή υπολογίζεται ο συντελεστής  $\sigma$  και η διαφορά  $\Delta c_u$ .

Αντίθετα στον σχεδιασμό ο χρήστης αναζητά μέσω του προγράμματος τις γωνίες  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  των τριγώνων ταχυτήτων στην είσοδο και έξοδο της αντλίας αντίστοιχα, καθώς και την ακτίνα εξόδου. Με δεδομένα την ονομαστική παροχή του ρευστού, τη διαφορά πίεσης  $\Delta p_0$  (ζητούμενα από το υπολογιστικό κομμάτι της ανάλυσης), τη γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  και την ακτίνα εισόδου δίνεται μια σχεδιαστική εικόνα της αντλίας.

Όποτε στο τέλος της χρησιμοποίησης του προγράμματος ο χρήστης θα έχει πολύτιμα στοιχεία για την αντλία πολύ γρήγορα και ξεκούραστα. Ένας μηχανικός με γνώσεις προγραμματισμού, και ιδιαίτερα Visual Basic, θα μπορούσε να εξελίξει το πρόγραμμα σύμφωνα με τις ανάγκες του. Συνεπώς έχοντας σαν πρότυπο αυτό το πρόγραμμα μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο, πιο ευέλικτο, πρόγραμμα που να δίνει περισσότερες πληροφορίες για την ανάλυση και τον σχεδιασμό μιας αντλίας.

## Βιβλιογραφία εισαγωγής

[1]: Βιβλίο «αντλίες» του ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Β. ΑΚΡΙΤΙΔΗ, καθηγητή Αριστοτελείου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις ΓΙΑΧΟΥΔΗ-ΓΙΑΠΟΥΛΗ, Θεσσαλονίκη 1985.

[2]: Άρθρο του ΕΡΩΤΟΚΡΙΤΟΥ ΤΣΙΓΚΑ, Μηχανολόγο Ηλεκτρολόγο Μηχ., με βιβλιογραφία:

- KSB - ΑΝΤΑΙΕΣ, Μετάφραση και έκδοση από το Σύλλογο Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων Β. Ε. Διπλωματούχων Ανωτάτων Σχολών, Θεσσαλονίκη 1986.
- ΑΝΤΑΙΕΣ ΚΑΙ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ, Ιωάννη Μ. Μαυρουδή, Εκδόσεις Επτάλοφος, Αθήνα 1994.
- PRACTICAL PLUMBING ENGINEERING, C. M. Harris, Εκδόσεις McGraw Hill Inc. 1990

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:  
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ  
ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

## 2.ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

### ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ

### ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Οι βασικοί νόμοι της φύσης που διέπουν την ροή του ρευστού και την παραγωγή έργου σε μια στροβιλομηχανή σε μια μορφή κατάλληλη για την μελέτη στροβιλομηχανών είναι οι:

- α) Η αρχή της διατήρησης της μάζας
- β) Η αρχή της διατήρησης της ορμής
- γ) Το θεώρημα της συστροφής
- δ) Η αρχή της διατήρησης της ενέργειας
- ε) Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος

Οι νόμοι αυτοί είναι γενικοί ανεξάρτητοι από την φύση του ρευστού και μπορούν να εκφραστούν με μαθηματικά χρησιμοποιώντας μερικές παραγώγους ή διανυσματικό λογισμό.

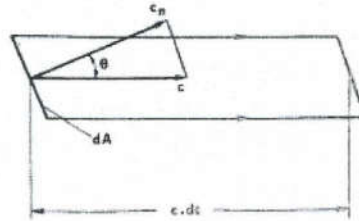
#### **2.1. Αρχή της διατήρησης της μάζας**

Η αρχή αυτή λέει ότι:

**«Σε ένα στοιχειώδη όγκο δεν μπορεί να γίνει συσσώρευση μάζας»**

Η μαθηματική έκφραση της αρχής αυτής είναι η εξίσωση της συνέχειας που είναι:

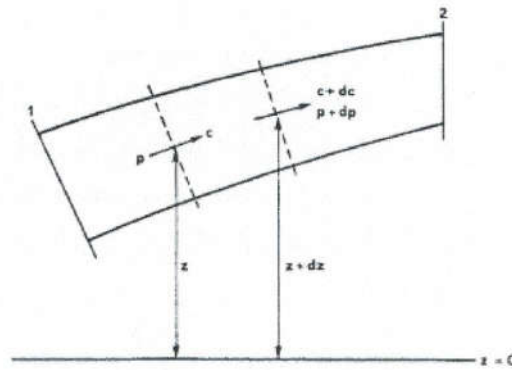
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \cdot \bar{c}) = 0$$



Σχήμα 1

Σε περίπτωση σταθερής μονοδιάστατης ροής η αρχή της διατήρησης της μάζας μπορεί να απλοποιηθεί με τον ακόλουθο τρόπο. Θεωρούμε λοιπόν την ροή ενός ρευστού μέσα από μια στοιχειώδη επιφάνεια  $dA$  και για ένα χρονικό διάστημα  $dt$ . Η μάζα του ρευστού που περνάει από την επιφάνεια αυτή είναι:

$$dm = \rho \cdot c \cdot \cos\theta \cdot dA \cdot dt = \rho \cdot c_n \cdot dA \cdot dt$$



Σχήμα 2

όπου  $\theta$  είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο στην επιφάνεια και την διεύθυνση της ταχύτητας. Η στοιχειώδης παροχή μάζας λοιπόν θα είναι:

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho \cdot c_n \cdot dA$$

Για μονοδιάστατες ροές όπου η ταχύτητα και η πυκνότητα θεωρούνται ότι δεν μεταβάλλονται πάνω σε μια διατομή, μπορούμε λοιπόν να πούμε η μάζα είναι ίση με:

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot c_{n1} \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_{n2} \cdot A_2 = \rho \cdot c_n \cdot A$$

όπου  $A_1, A_2, A$  είναι το εμβαδόν διάφορων διατομών ενός καναλιού.

## 2.2. Αρχή της διατήρησης της ορμής

Η αρχή της διατήρησης της ορμής βασίζεται στον δεύτερο νόμο του Newton, που στη βασική του μορφή για ένα σύστημα ροής με σταθερή μάζα είναι:

$$\text{Δύναμη} = \text{μάζα} \times \text{επιτάχυνση}$$

Ο νόμος αυτός συνδέει διανύσματα και επομένως για να εφαρμοσθεί χρειάζεται κάποιο σύστημα συντεταγμένων.

Στη γενική της μορφή η αρχή διατήρησης της ορμής είναι:

$$\frac{D\vec{c}}{Dt} = \vec{f} - \frac{1}{\rho} \cdot \text{grad}p$$

όπου  $\vec{f}$  είναι διάφορες δυνάμεις που ενεργούν πάνω στον στοιχειώδη όγκο του ρευστού.

Μπορούμε να πάρουμε μια απλοποιημένη έκφραση της προηγούμενης εξίσωσης, θεωρώντας πάλι μια μονοδιάστατη ροή μάζας  $m$  και ένα στοιχειώδη όγκο, όπου η ομοιόμορφη ταχύτητα εισόδου στη διεύθυνση  $x$  είναι  $c_{x1}$  και εξόδου  $c_{x2}$ .

Η αρχή της διατήρησης της ορμής λέγει ότι το αλγεβρικό άθροισμα των δυνάμεων που ενεργούν μέσα και πάνω στην επιφάνεια του στοιχειώδη όγκου στην διεύθυνση  $x$  ισούται με την μεταβολή της ορμής σε αυτή την διεύθυνση. Εκφράζοντάς τον μαθηματικά έχουμε:

$$\Sigma F_x = m \frac{dc_x}{dt}$$

ή

$$\Sigma F_x = \dot{m} \cdot (c_{x2} - c_{x1})$$

Η τελευταία εξίσωση μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τις δυνάμεις που ενεργούν πάνω στις στερεές επιφάνειες μιας στροβιλομηχανής.

Μπορούμε επίσης να πάρουμε μια απλοποιημένη έκφραση της εξίσωσης  $\frac{D\bar{c}}{Dt} = \bar{f} - \frac{1}{\rho} \cdot grad p$ , θεωρώντας ένα στοιχειώδη όγκο κατά μήκος μιας γραμμής ροής (σχήμα 2).

Αν θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν τριβές, είτε κατά μήκος είτε στην επιφάνεια του στοιχειώδη όγκου, η μόνη δύναμη που μένει είναι η γεωδευτική. Επομένως

$$\bar{f} = \bar{g} \cdot z$$

Τότε η εξίσωση  $\frac{D\bar{c}}{Dt} = \bar{f} - \frac{1}{\rho} \cdot grad p$  μπορεί να γραφτεί:

$$c \cdot dc = -g \cdot dz - \frac{1}{\rho} \cdot d\rho$$

$$\frac{1}{\rho} \cdot d\rho + c \cdot dc + g \cdot dz = 0$$

που είναι η εξίσωση για μονοδιάστατη ροή. Αν ολοκληρώσουμε την προηγούμενη εξίσωση κατά μήκος μιας γραμμής ροής, από την θέση 1 στην θέση 2, θα πάρουμε:



$$\int \frac{1}{\rho} \cdot dp + \frac{1}{2}(c_1^2 - c_2^2) + g \cdot (z_2 - z_1) = 0$$

που είναι η εξίσωση BERNOULLI.

Για ασυμπίεστη ροή, δηλαδή  $\rho = \text{σταθερό}$ , έχουμε την γνωστή σχέση:

$$\frac{1}{\rho}(p_2 - p_1) + \frac{1}{2}(c_1^2 - c_2^2) + g \cdot (z_2 - z_1) = 0$$

Αν αγνοήσουμε τις μεταβολές του γεωδαιτικού ύψους και θεωρήσουμε ολική πίεση ανακοπής (stagnation pressure),

$$p_o = p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c^2$$

τότε έχουμε:

$$P_{o1} = P_{o2}$$

Επομένως η ολική πίεση ανακοπής κατά μήκος των γραμμών ροής, όταν δεν υπάρχουν απώλειες, είναι σταθερή.

### 2.3. Το θεώρημα της στροφορμής

Στις στροβιλομηχανές η μεταβολή της ροπής της ορμής, ανάμεσα στα πτερύγια του δρομέα, παίζει σημαντικό ρόλο στην εναλλαγή ενέργειας ανάμεσα στο ρευστό και την πτερωτή. Η μεταβολή της ροπής της ορμής ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο από την πτερωτή, έχει σαν συνέπεια, να αναπτυχθεί πάνω στην πτερωτή μια ροπή στροφής, δηλαδή μηχανικό έργο περιστροφής πάνω στην άτρακτο της μηχανής, που είναι σταθερά συναρμολογημένη με την πτερωτή.

Για να υπολογίσουμε την ροπή μιας δύναμης  $\overline{F}$  ως προς ένα σημείο θα πρέπει να υπολογίσουμε το εξωτερικό γινόμενο



$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$



Σχήμα 3

Το διάνυσμα της ροπής  $\vec{M}$  είναι ακριβώς κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από την ακτίνα  $\vec{r}$  και την δύναμη  $\vec{F}$ .

Για να βρούμε, επομένως, την ροπή πάνω σε έναν άξονα με διεύθυνση  $\vec{\omega}$ , θα πρέπει να σχηματίσουμε την έκφραση:

$$M_a = \vec{M} \cdot \vec{\omega} = (\vec{r} \times \vec{F}) \cdot \vec{\omega}$$

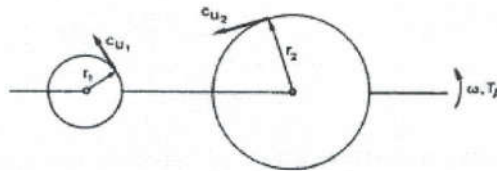
Σε μια στροβιλομηχανή που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ , το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών  $M_a$  στον άξονα θα πρέπει να είναι ίσο με την ροπή της στροφής πάνω στην πτερωτή.

Θα πρέπει κανένας βέβαια να θεωρήσει όλες τις δυνάμεις  $F_i$  που ενεργούν σε κάθε στοιχειώδη όγκο ρευστού, όπως δίνεται στην εξίσωση  $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ . Στη συνέχεια θα πρέπει να ολοκληρώσει κανείς όλες αυτές τις στοιχειώδεις ροπές μέσα και γύρω σε μια οριακή επιφάνεια που περικλείει την πτερωτή για να υπολογίσει την τελική ροπή που εμφανίζεται στον άξονα και είναι ίση με την ροπή της στροφής του άξονα.

#### 2.4. Οι εξισώσεις του Euler

Σαν απλή εφαρμογή ας θεωρήσουμε ένα σύστημα που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  γύρω από έναν άξονα. Ρευστό μάζας  $m$  μπαίνει στην

θέση 1 και έχει εφαπτομενική ταχύτητα  $c_{u1}$ . Το ρευστό βγαίνει από το σύστημα σε μια θέση 2 και έχει εφαπτομενική ταχύτητα  $c_{u2}$ .



Σχήμα 4

Αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχουν άλλες δυνάμεις να ενεργούν στο σύστημα, τότε η μεταβολή της ροπής της ορμής, συστροφή, θα είναι ίση με την ροπή στον άξονα της περιστροφής.

Για ένα μονοδιάστατο σύστημα η μεταβολή της ορμής στην εφαπτομενική διεύθυνση είναι  $m \cdot c_u$  και η αντίστοιχη ροπή παράλληλη στον άξονα της περιστροφής θα είναι:

$$\dot{m} \cdot c_u \cdot r$$

Η μεταβολή τότε της συστροφής μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

$$T_A = \dot{m} \cdot (c_{u2} \cdot r_2 - c_{u1} \cdot r_1)$$

όπου  $T_A$  είναι η ροπή στον άξονα της περιστροφής.

Για μια στροβιλομηχανή, που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ , η ισχύς, που εναλλάσσεται μεταξύ ρευστού και πτερωτής, θα είναι:

$$T_A \cdot \omega = \dot{m} \cdot (c_{u2} \cdot r_2 - c_{u1} \cdot r_1) \cdot \omega$$

Σε μια πτερωτή η ταχύτητα του περυγίου δίνεται σαν

$$U = \omega \cdot r$$

και επομένως το έργο ανά μονάδα μάζας είναι

$$\Delta W = \frac{T_A \cdot \omega}{m} = U_2 \cdot c_{u2} - U_1 \cdot c_{u1} > 0$$

Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή σαν **η εξίσωση του Euler για αντλίες.**

Στην περίπτωση του στροβίλου το πρόσημο είναι αντίθετο, γιατί το έργο παράγεται στον άξονα. Στην περίπτωση αυτή και μόνο για να μην έχουμε αρνητικό έργο, αντιστρέφοντας το πρόσημο το ειδικό έργο στον άξονα του στροβίλου είναι

$$\Delta W_t = \frac{T_A \cdot \omega}{m} = U_1 \cdot c_{u1} - U_2 \cdot c_{u2} > 0 \text{ (‘‘εξίσωση του Euler’’ για στροβίλους).}$$

## 2.5. Τρίγωνα ταχυτήτων

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας πτερωτής, δρομέα, είναι ότι περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  και επομένως γεωμετρικώς υπάρχει αξονική συμμετρία. Για τον λόγο αυτό η μελέτη της ροής σε μια στροβιλομηχανή είθισται να γίνεται σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων με μοναδιαία διανύσματα  $\bar{z}_o$  διεύθυνση κατά μήκος του άξονα περιστροφής,  $\bar{r}_o$  η διεύθυνση της ακτίνας σε κάποιο σημείο και  $\bar{u}_o$  που είναι κάθετη στο  $\bar{r}_o$ , στο σημείο εφαρμογής και εξ' ορισμού

$$\bar{u}_o = \bar{z}_o \cdot \bar{r}_o$$

Πρακτικά η διεύθυνση  $u$  συμπίπτει με τη διεύθυνση της περιστροφής. Η ταχύτητα του δρομέα σε ένα σημείο ακτίνας  $r$  δίνεται τότε σαν

$$\bar{U} = (\bar{\omega} \cdot \bar{r}) = (\omega \cdot r) \cdot \bar{u}_o$$

Η ταχύτητα του ρευστού σε κάθε σημείο  $(r, u, z)$  είναι

$$\bar{c} = c_r \cdot \bar{r}_o + c_u \cdot \bar{u}_o + c_z \cdot \bar{z}_o$$

Αν θεωρήσουμε ένα άλλο σύστημα κυλινδρικών συντεταγμένων που περιστρέφεται με την πτερωτή, η ταχύτητα του ρευστού στο περιστρεφόμενο σύστημα συντεταγμένων θα είναι

$$\bar{w} = \bar{c} - \bar{u} = w_r \cdot \bar{r}_o + w_u \cdot \bar{u}_o + w_z \cdot \bar{z}_o$$

Όποτε από τις προηγούμενες εξισώσεις έχουμε

$$c_r = w_r$$

$$c_u = w_u + \omega r$$

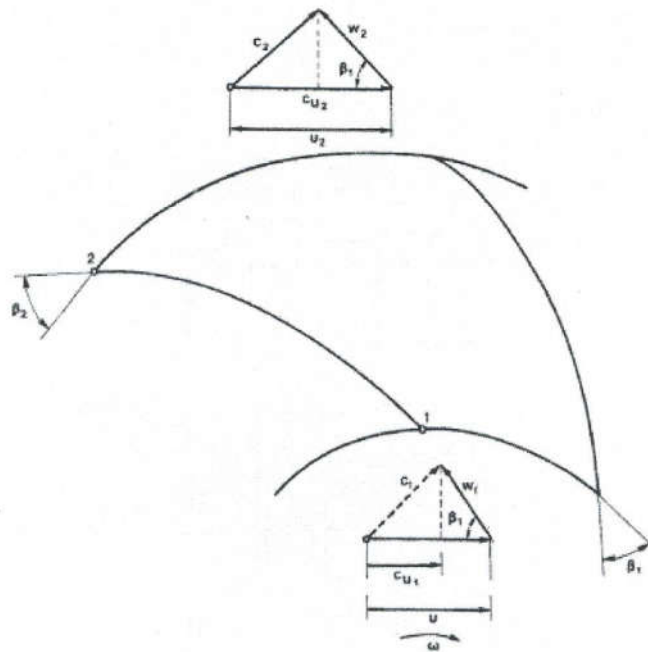
$$c_z = w_z$$

όπου  $w$  είναι η σχετική του ρευστού μέσα σε μια πτερωτή.

**Οι γεωμετρικές σχέσεις ανάμεσα στην απόλυτη  $c$ , την σχετική  $w$  και την περιφερειακή ταχύτητα  $u$  αποτελούν τα λεγόμενα τρίγωνα ταχυτήτων.**

Στο σχήμα 5 έχουμε μια απλή φυγοκεντρική αντλία, όπου στην είσοδο 1 και στην έξοδο 2 έχουμε σχεδιάσει τα τρίγωνα ταχυτήτων. Η καμπύλη 1-2 αντιπροσωπεύει το περύγιο,  $\beta_1$  είναι η γωνία που σχηματίζει με την περιφερειακή συνιστώσα  $u$ . Στο συγκεκριμένο σημείο κάτω από ιδανικές συνθήκες η γωνία  $\beta_1$  του περυγίου θα συμπίπτει με την γωνία  $\beta_1$  της ροής, με άλλα λόγια το διάνυσμα της σχετικής ταχύτητας θα είναι εφαπτόμενο στο περύγιο της πτερωτής. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η προβολή της σχετικής ή της απόλυτης ταχύτητας στην ακτινική διεύθυνση  $w_r = c_r$  θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ικανοποιεί την αρχή της συνέχειας, δηλαδή

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot c_{r1} \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_{r2} \cdot A_2$$



Σχήμα 5

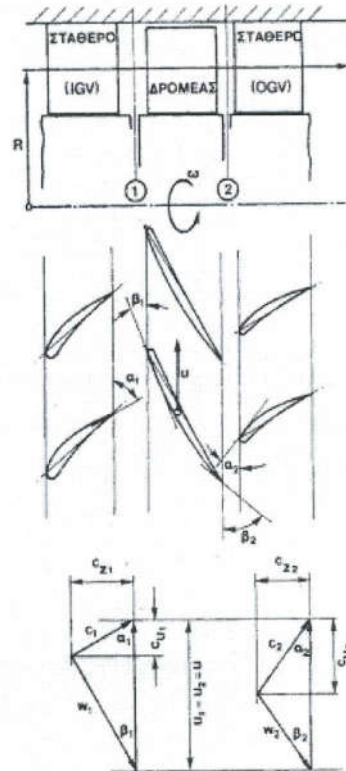
Στο σχήμα 6 φαίνεται μια βαθμίδα αξονικής στροβιλομηχανής που αποτελείται από τα σταθερά πτερώγια εισόδου, την περωτή και τα σταθερά πτερώγια εξόδου. Επίσης δείχνουμε τα τρίγωνα εισόδου και εξόδου στο δρομέα.

Αν υποθέσουμε ότι το ρευστό βγαίνει από σταθερά πτερώγια εισόδου με ταχύτητα  $c_1$  και μπαίνει στον δρομέα που περιστρέφεται με περιφερειακή ταχύτητα  $u_1$ , το διάνυσμα της σχετικής ταχύτητας  $w_1$  είναι αυτόματα καθορισμένο από την σχέση

$$w_1^2 = c_1^2 + u_1^2 - 2 \cdot c_1 \cdot u_1 \cdot \cos \alpha_1$$

Κάτω από ιδανικές συνθήκες, όπου θέλουμε το ρευστό να ακολουθήσει τη διεύθυνση του πτερωγίου, η γωνία  $\beta_1$  θα είναι

$$\beta_1 = \cos^{-1} \left\{ \frac{(u_1 - c_1 \cdot \cos \alpha_1)}{w_1} \right\}$$



Σχήμα 6

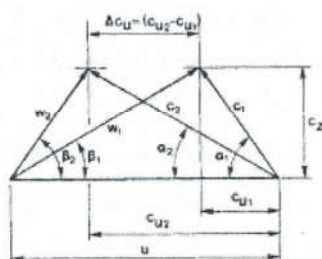
Παρόμοιες σχέσεις μπορεί κανένας να αναπτύξει και για τις γωνίες των πτερυγίων εξόδου.

Όπως και στη φυγοκεντρική αντλία, εδώ η αξονική συνιστώσα της ταχύτητας θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ικανοποιεί την αρχή διατήρησης της μάζας, δηλαδή

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot c_{z1} \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_{z2} \cdot A_2 \cdot$$



Στην περίπτωση των αξονικών στροβιλομηχανών, κάτω από ιδανικές συνθήκες, το ρευστό κινείται παράλληλα στον άξονα περιστροφής και επομένως  $R_2 = R_1$  οπότε  $u_2 = u_1 = u$ .



Σχήμα 7

Τότε μπορούμε να σχεδιάσουμε τα λεγόμενα τρίγωνα κοινής βάσης (σχήμα 7) που μας επιτρέπουν να βλέπουμε εύκολα την μεταβολή της περιφερειακής συνιστώσας της απόλυτης ταχύτητας και επομένως το ειδικό όπως δίνεται από την εξίσωση του Euler  $\Delta w = u \cdot (c_{u2} - c_{u1})$ .

## 2.6. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας

$$\dot{m} \left[ (z_2 - z_1) \cdot g + \left( \frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} \right) + \frac{1}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2) + (u_2 - u_1) \right] = N$$

και προκειμένου για αέρια

$$\dot{m} \cdot (h_{o2} - h_{o1}) = N$$

Το πρόσημο της ισχύος  $N$  είναι θετικό για αντλίες, συμπιεστές και φουσητήρες και αρνητικό για στροβίλους.

## 2.7. 2<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος

Μέσα στη στροβιλομηχανή έχουμε μια συνεχή μεταβολή, κυρίως για αέρια, των θερμοδυναμικών μεγεθών, δηλαδή της ενθαλπίας, πίεσης και πυκνότητας.

Στη φύση οι μεταβολές καταστάσεων δεν είναι συνήθως ιδανικές και επομένως χρειαζόμαστε ένα μέτρο σύγκρισης προκειμένου να κρίνουμε την ποιότητα μιας τέτοιας μεταβολής.

Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος με τη μορφή της ανισότητας του Clausius μας δίνει τη δυνατότητα να ορίσουμε ιδανικές μεταβολές. Σύμφωνα με την ανισότητα αυτή όταν ένα σύστημα υπόκειται σε μεταβολές που περιλαμβάνουν μετάδοση θερμότητας  $dQ$  τότε

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

Όταν οι μεταβολές είναι αντιστρεπτές τότε έχουμε

$$\oint \frac{dQ_A}{T} = 0$$

Στην περίπτωση που το σύστημα περνάει από μια κατάσταση 1 σε μια άλλη 2, τότε η μεταβολή της εντροπίας θα είναι

$$S_2 - S_1 = \int \frac{dQ_A}{T}$$

Για μη αντιστρεπτές μεταβολές έχουμε ότι

$$\dot{m} \cdot (s_2 - s_1) \geq \int \frac{dQ}{T}$$

που σημαίνει ότι για αδιαβατικές μεταβολές, όπου  $dQ = 0$

$$s_2 > s_1$$

Ορίζουμε λοιπόν σαν ιδανική την μεταβολή εκείνη της οποίας η εντροπία παραμένει σταθερή (ισεντροπική μεταβολή).

Τέλος από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής έχουμε ότι

$$Tds = dh - dp/\rho.$$

### **Βιβλιογραφία κεφαλαίου**

Βιβλίο «**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ**» του Απόστολου Κ. Γούλα,  
Καθηγητή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

\*Κεφαλαίο 2.2 : «**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ  
ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ**».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:  
ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

## **3.ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ**

### **3.1. Φυγοκεντρικές στροβιλομηχανές**

Κύριο χαρακτηριστικό των φυγοκεντρικών στροβιλομηχανών είναι ότι η διεύθυνση της ροής μέσα στον δρομέα είναι κάθετη στον άξονα της περιστροφής, επομένως οι φυγοκεντρικές δυνάμεις παίζουν σημαντικό ρόλο στην εναλλαγή ενέργειας ανάμεσα στον δρομέα και στο ρευστό.

Οι φυγοκεντρικές μηχανές αποτελούν την πλειοψηφία των στροβιλομηχανών, χάρις στο αυξημένο έργο που παράγουν ή απορροφούν ανά μονάδα βάρους της μηχανής. Διακρίνουμε από αυτές τις φυγοκεντρικές αντλίες, που είναι και το αντικείμενο μελέτης σε αυτήν την εργασία.

### **3.2. Εισαγωγή στις φυγοκεντρικές αντλίες**

Η δουλειά των φυγοκεντρικών αντλιών είναι να αυξήσουν την ενέργεια του ρευστού στην έξοδο τους.

Στην μεγάλη τους πλειοψηφία οι φυγοκεντρικές αντλίες είναι μονοβάθμιες και αποτελούνται από τον δρομέα, το σύστημα προσαγωγής του ρευστού και το σύστημα συλλογής.

Με το σύστημα προσαγωγής το ρευστό έρχεται παράλληλα στον άξονα περιστροφής στην είσοδο του δρομέα.

Ο δρομέας σε μεσημβρινή τομή, κατά μήκος του άξονα, μοιάζει με γωνία  $90^\circ$ . Το ρευστό λοιπόν αξονικά και βγαίνει στην έξοδο του δρομέα ακτινικά.

Το σύστημα συλλογής «μαζεύει» το ρευστό από την περιφέρεια του δρομέα και το παραδίνει στο σωλήνα εξόδου της αντλίας.

Μερικές φορές στην είσοδο του συστήματος συλλογής έχουμε μια σειρά πτερυγίων, τα ονομαζόμενα πτερύγια διάχυσης.

### 3.3. Τρίγωνα ταχυτήτων του δρομέα

Στην είσοδο του δρομέα το ρευστό έχει ταχύτητα  $c_1$  που σε συνδυασμό με την περιφερειακή ταχύτητα  $u_1$ , θα μας δώσει την σχετική ταχύτητα  $w_1$ . Από το θεώρημα της συνέχειας η  $c_{z1}$  θα είναι ίση με

$$c_{z1} = \dot{m} / \rho \cdot A_1$$

Στην έξοδο του δρομέα το ρευστό βγαίνει με σχετική ταχύτητα  $w_2$  και σε συνδυασμό με την  $u_2$  παίρνει κανένας με την απόλυτη ταχύτητα  $c_2$ . Η συνιστώσα  $c_{r2}$  είναι ίση με

$$c_{r2} = \dot{m} / \rho_2 \cdot A_2 = \dot{m} / 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b_2$$

όπου  $b_2$  είναι το ύψος του περυγίου στην έξοδο και  $r_2$  η ακτίνα στο ίδιο σημείο.

### 3.4. Το έργο στον δρομέα

Από το θεώρημα του Euler το ειδικό έργο θα είναι ίσο με

$$\Delta W = \frac{\dot{w}}{\dot{m}} = u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1}$$

Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το έργο φαίνεται ότι η προβολή της ταχύτητας εισόδου στην περιφερειακή διεύθυνση  $c_{u1}$  θα πρέπει να είναι μηδέν. Τότε το ειδικό έργο θα είναι

$$\Delta W = u_2 \cdot c_{u2}$$

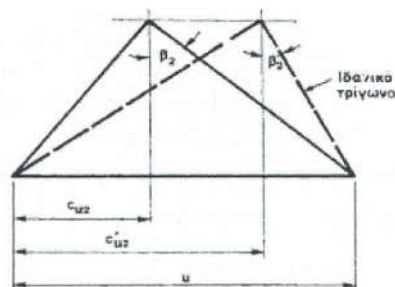


Στη πράξη στην περιπτώσεις και για λειτουργία κοντά στο σημείο σχεδιασμού της αντλίας δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πτερύγια μπροστά από τον δρομέα, η  $c_{u1}$  είναι μηδέν και το ρευστό μπαίνει στον δρομέα αξονικά.

Υπάρχουν όμως ειδικές περιπτώσεις όπου προκειμένου να ελαττωθεί η σχετική ταχύτητα του ρευστού και να αποφευχθούν προβλήματα σπηλαιώσης στις αντλίες να τοποθετηθούν μια σειρά σταθερά πτερύγια πριν από τον δρομέα, οπότε η  $c_{u1}$  δεν είναι πλέον μηδενική.

### 3.5. Απόκλιση ροής στην έξοδο

Η ροή στην έξοδο της αντλίας, ακόμα και κάτω από ιδανικές συνθήκες ρευστού με ξώδες ίσο με το μηδέν, δεν ακολουθεί τα πτερύγια. Το φαινόμενο αυτό λέγεται απόκλιση (slip) της ροής. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε δύο τρίγωνα ταχυτήτων που αντιστοιχούν στις ιδανικές συνθήκες, όπου το ρευστό ακολουθεί το πτερύγιο και στις πραγματικές συνθήκες, όπου το ρευστό έχει διαφορετική γωνία εξόδου.



Η γωνία  $\delta_s = \beta_2 - \beta'_2$  είναι η αντίστοιχη της γωνίας απόκλισης  $\delta$  μιας αξονικής αεροτομής.

Η ουσιαστική διαφορά τους είναι πρώτον στο μέγεθος της γωνίας απόκλισης και κυρίως στους μηχανισμούς που τις προκαλούν. Ακριβής γνώση της γωνίας

απόκλισης είναι απαραίτητη για τον σωστό υπολογισμό του έργου που εναλλάσσεται ανάμεσα στον δρομέα και το ρευστό.

Προκειμένου να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς που επηρεάζουν την γωνία απόκλισης σε μια φυγοκεντρική αντλία θα κάνουμε χρήση του θεωρήματος του Kelvin. Ο Kelvin απέδειξε ότι αν σε ένα πεδίο ροής ενός ατριβούς ρευστού η συστροφή στην είσοδο του πεδίου είναι μηδέν, αστρόβιλη (irrotational) ροή, τότε η συστροφή θα παραμείνει μηδενική παντού μέσα στο πεδίο.

Στην περίπτωση μιας φυγοκεντρικής αντλίας, αν το ρευστό στη είσοδο έχει μηδενική συστροφή, τότε στην έξοδο η συστροφή θα πρέπει να είναι επίσης μηδέν. Δεδομένου όμως ότι ο δρομέας έχει μια γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ , προκειμένου να ικανοποιηθεί το θεώρημα του Kelvin, θα πρέπει το ρευστό να έχει μια συστροφή με γωνιακή ταχύτητα  $-\omega$  σχετική προς τον δρομέα. Η συστροφή αυτή σχηματίζει μια δίνη μέσα στον δρομέα, που λέγεται σχετική δίνη (relative eddy) και δείχνεται στο παρακάτω σχήμα (α).



Η ροή μέσα σε ένα δρομέα μπορεί, για γραμμικές μεταβολές, να θεωρηθεί σαν επαλληλία μιας ομοιόμορφης ροής και της σχετικής δίνης. Το αποτέλεσμα είναι η ροή να έχει την διεύθυνση του παραπάνω σχήματος (β). Το ρευστό επομένως στην έξοδο της φυγοκεντρικής αντλίας κινείται στην αντίθετη διεύθυνση προς εκείνη του δρομέα, με αποτέλεσμα η  $c_{u2}$  να είναι μικρότερη από την  $c'_{u2}$ .

Η ανάλυση αυτή έγινε για ατριβές ρευστό. Στην πραγματικότητα η απόκλιση γίνεται ακόμα πιο μεγάλη από την ανάπτυξη των οριακών στρωμάτων στις διάφορες επιφάνειες και κυρίως στην πλευρά αναρρόφησης, με αποτέλεσμα στην έξοδο του δρομέα να έχουμε δύο ξεχωριστές περιοχές, μια κοντά στη επιφάνεια κατάθλιψης όπου η ταχύτητα είναι υψηλή, περιοχή jet, και μια κοντά στην επιφάνεια

αναρρόφησης όπου η ταχύτητα είναι χαμηλή, περιοχή wake. Η ανάμιξη αυτών των δύο περιοχών δίνει μια μέση ταχύτητα  $c_{u2}$ , σημαντικά μικρότερη της  $c'_{u2}$ .

Οι περισσότερες μέθοδοι χρησιμοποιούν την απόκλιση (slip) που ορίζεται σαν

$$\Delta c_u = c'_{u2} - c_{u2}$$

ή τον **συντελεστή απόκλισης (slip factor)** που ορίζεται σαν

$$\sigma = \frac{c_{u2}}{c'_{u2}}$$

Η πρώτη σχέση για την απόκλιση οφείλεται στον **Stodola** και είναι

$$\Delta c_u = \left( \pi \cdot U_2 \cdot \cos \beta_2' \right) / z$$

όπου  $z$  είναι ο αριθμός των πτερυγίων. Όταν ο  $z$  αυξάνει, η καθοδήγηση του ρευστού είναι πιο αποτελεσματική και επομένως η  $\Delta c_u$  θα μειωθεί. Αντίστοιχα, ο συντελεστής απόκλισης θα είναι

$$\sigma = 1 - \frac{\left( \frac{\pi}{z} \right) \cdot \cos \beta_2'}{\left( 1 - \Phi_2 \cdot \tan \beta_2' \right)}$$

όπου  $\Phi_2$  είναι ο συντελεστής παροχής και δίνεται σαν

$$\Phi_2 = c_{r2} / u_2$$

Μια άλλη σχέση που ισχύει για τα πτερύγια, που έχουν γραμμή καμπυλότητας λογαριθμική σπείρα και χρησιμοποιούνται κυρίως σε αντλίες, οφείλεται στον **Busemann**. Κατά αυτόν ο συντελεστής απόκλισης δίνεται από την σχέση

$$\sigma = \frac{(A - B \cdot \Phi_2 \cdot \tan \beta_2')}{(1 - \Phi_2 \cdot \tan \beta_2')}$$

Οι συντελεστές A και B είναι συνάρτηση του αριθμού των περυγίων και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δρομέα.

Για την περίπτωση που ο λόγος μήκους περυγίου προς την απόσταση των,  $l/s$ , είναι μεγαλύτερος από την μονάδα και

$$\frac{r_2}{r_1} > \exp\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \cos \beta_2'}{z}\right)$$

τότε ο B είναι σταθερός και περίπου ίσος με τη μονάδα, ο δε A δίνεται διαγραμματικά.

Μια άλλη έκφραση, που ισχύει επίσης για στροβιλομηχανές μικτής ροής, για την απόκλιση και τον συντελεστή απόκλισης από τον **Stanitz** και είναι

$$\Delta c_u = 0.63 \cdot U_2 \cdot \pi / z$$

και

$$\sigma = 1 - \frac{0.63 \cdot \left(\frac{\pi}{z}\right)}{1 - \varphi_2 \cdot \tan \beta_2'}$$

αντίστοιχα.

Επίσης υπάρχει, μεταξύ άλλων, και η μέθοδο του Wiesner, η οποία έχει, για αυτά τα δύο μεγέθη, τους εξής τύπους:

$$\Delta c_u = \frac{U_2 \cdot \sqrt{\cos \beta_2'}}{Z^{0.7}}$$

και

$$\sigma = 1 - \frac{\sqrt{\cos \beta_2'} / Z^{0.7}}{1 - \varphi_2 \cdot \tan \beta_2'}$$

## **Βιβλιογραφία κεφαλαίου**

Βιβλίο «**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ**» του Απόστολου Κ. Γούλα,  
Καθηγητή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

\*Κεφαλαίο 7.1 : «**ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ  
ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ**».



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:**  
**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ**

## 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### 4.1. Ανάλυση

Η διαδικασία της ανάλυσης ξεκινάει με τον καθορισμό των δεδομένων, των οποίων οι τιμές είναι αυτές που ταιριάζουν στη μελέτη του χρήστη. Έπειτα γίνονται οι κατάλληλοι υπολογισμοί και τέλος δίνονται τα αποτελέσματα.

Όποτε η φόρμα εκκίνησης της ανάλυσης έχει ένα κουμπί διαταγής (“DATA”), όπου ασχολείται ο χρήστης με τα δεδομένα, τα οποία είναι:

- Η γωνία  $\beta_1$  στην είσοδο της αντλίας
- Η γωνία  $\beta_2$  στην έξοδο της αντλίας
- Η ακτίνα  $r_1$  (ακτίνα εισόδου)
- Η ακτίνα  $r_2$  (ακτίνα εξόδου)
- Το πάχος  $b$  της αντλίας
- Ο αριθμός πτερυγίων  $z$
- Η γωνιακή ταχύτητα  $\omega$

Συμπληρώνοντας τα δεδομένα που θέλει ο χρήστης μπορεί να συνεχίσει την ανάλυση πηγαίνοντας πίσω στην φόρμα εκκίνησης της ανάλυσης και πατώντας το κουμπί για τον υπολογισμό ζητούμενων για ονομαστική παροχή ή/ και το κουμπί για τον υπολογισμό ζητούμενων για τρέχουσα παροχή.

Τα ζητούμενα που μας υπολογίζει το πρόγραμμα για οποιαδήποτε παροχή είναι όλες οι ταχύτητες στα τρίγωνα ταχυτήτων στην είσοδο και έξοδο της αντλίας, η ισχύς, η διαφορά πίεσης και το ολικό ύψος. Αναλυτικά τα ζητούμενα είναι:

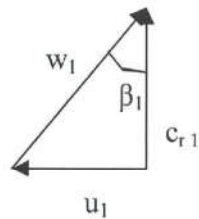
- Περιφερειακή ταχύτητα  $u_1$
- Ταχύτητα  $c_{r,1}$
- Σχετική ταχύτητα  $w_1$
- Περιφερειακή ταχύτητα  $u_2$
- Ταχύτητα  $c_{r,2}$
- Σχετική ταχύτητα  $w_2$
- Ταχύτητα  $c_{u,2}$
- Απόλυτη ταχύτητα  $c_2$

- Ισχύς N
- Διαφορά πίεσης  $\Delta p_0$
- Ολικό ύψος  $H_0$

Για ονομαστική παροχή (κουμπί με λεζάντα “COMPUTE FOR  $Q_{on}$ ”) οι υπολογισμοί ακολουθούν την εξής σειρά πράξεων:

### ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

$$u_1 = \omega \cdot r_1$$



(Η  $\beta_1$  στην είσοδο της αντλίας είναι μόνο για ονομαστική παροχή. Για τρέχουσα παροχή η γωνία  $\beta_1$  μεταβάλλεται.)

$$Q_{on} = \frac{\omega \cdot r_1 \cdot (2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot b)}{\tan \beta_1}$$

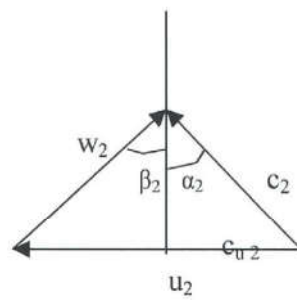
$$c_{r1} = \frac{Q_{om}}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot b}$$

$$w_1 = \frac{\omega \cdot r_1}{\sin \beta_1}$$

### ΕΞΟΔΟΣ ΑΝΤΑΙΑΣ

$$u_2 = \omega \cdot r_2$$

$$c_{r2} = \frac{Q_{om}}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b}$$



$$w_2 = \frac{c_{r2}}{\cos \beta_2}$$

$$c_{u2} = \omega \cdot r_2 - c_{r2} \cdot \tan \beta_2$$

$$c_2 = \sqrt{c_{u2}^2 + c_{r2}^2}$$

$$N = \frac{\gamma}{\rho} \cdot Q_{on} \cdot (c_{u2} \cdot r_2 - c_{u1} \cdot r_1) \quad , c_{u1}=0$$

$$\Delta p_0 = N/Q$$

$$H_0 = \Delta p_0 / \rho \cdot g$$

Για τρέχουσα παροχή ο χρήστης θα ορίσει τον αριθμό παροχών προς μελέτη “NCHAR”, θα υπολογίσει την μέγιστη παροχή **Qmax** και θα ξαναεκτελέσει το πρόγραμμα τις παραπάνω πράξεις, αλλά για νέα παροχή και διαφορετική γωνιά β<sub>1</sub> σε κάθε επανάληψη των πράξεων μέχρι “NCHAR” φορές. Οι νέες πράξεις εδώ είναι:

$$Q_{max} = \frac{2 \cdot r_2^2 \cdot \pi \cdot b \cdot \omega}{\tan \beta_2}$$

$$DQ = Q_{max} / (NCHAR - 1)$$



$$Q_{ir} = (i-1) \cdot DQ, \quad i_{\max} = \text{NCHAR}$$

$$\beta_1' = \tan^{-1} \left( \frac{\omega \cdot r_1}{c_{r1}} \right)$$

Όλοι οι υπόλοιποι υπολογισμοί είναι ίδιοι με διαφορετικές τιμές.

Μέχρι τώρα όλοι οι υπολογισμοί ήταν για ιδεατή ροή, για **πραγματική ροή** η γωνία  $\beta_2$  διαφοροποιείται ( $\beta_2'$ ) και υπολογίζεται ο **συντελεστής απόκλισης  $\sigma$  (Slip factor)** και η μεταβολή της ταχύτητας  $c_{u2}$ ,  $Dc_u$ . Αυτά υπολογίζονται με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους:

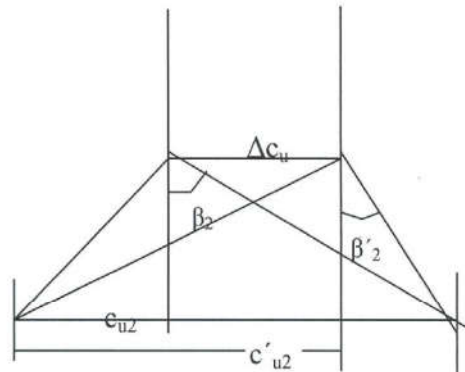
- Τη μέθοδο του Stodola:

$$\sigma = 1 - \frac{\left( \frac{\pi}{Z} \right) \cdot \cos \beta_2'}{1 - \varphi_2 \cdot \tan \beta_2'}$$

$$\varphi_2 = \frac{c_{r2}}{u_2}, \quad \text{όπου } c_{r2} \text{ και } u_2 \text{ για ονομαστική παροχή}$$

$$\sigma = \frac{c_{u2}'}{c_{u2}}$$

$$\Delta c_u = c_{u2}' - c_{u2}$$



- Τη μέθοδο Stanitz:

$$\text{Όπου } \sigma = 1 - \frac{0.63 \cdot \left(\frac{\pi}{Z}\right)}{1 - \varphi_2 \cdot \tan \beta'_2}$$

- Και τέλος τη μέθοδο Wiesner:

$$\text{Όπου } \sigma = 1 - \frac{\sqrt{\cos \beta'_2} / Z^{0.7}}{1 - \varphi_2 \cdot \tan \beta'_2}$$

Τα αποτελέσματα δίνονται και σε πίνακες, αλλά και διαγραμματικά για ονομαστική και τρέχουσα παροχή, και για ιδεατή και για πραγματική ροή. Καλύτερα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο «ΔΟΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ»

## 4.2. Σχεδιασμός

Στο μέρος του σχεδιασμού της αντλίας, ο χρήστης έχει σαν δεδομένα:

- την ονομαστική παροχή  $Q_{on}$ ,
- την αύξηση της πίεσης  $\Delta p_0$ ,
- την ακτίνα εισόδου  $r_1$ ,
- τη γωνιακή ταχύτητα  $\omega$
- και τις ταχύτητες  $c_{r1}$  και  $c_{r2}$ .

Δίνοντας τις τιμές που θέλει στα παραπάνω δεδομένα, το πρόγραμμα θα εκτελέσει μια σειρά από πράξεις, για να αποδώσει τιμές στα παρακάτω ζητούμενα για ιδεατή ροή:

- πάχος  $b$ ,
- γωνία  $\beta_1$ ,
- σχετική ταχύτητα  $w_1$ ,
- περιφερειακή ταχύτητα  $u_1$ ,
- ακτίνα εξόδου  $r_2$ ,
- περιφερειακή ταχύτητα  $u_2$ ,
- ταχύτητα  $c_{u2}$ ,
- γωνία  $\beta_2$ ,
- σχετική ταχύτητα  $w_1$
- και απόλυτη ταχύτητα  $c_2$ .

Οι πράξεις, που εκτελούνται, είναι:

### ΕΙΣΟΔΟΣ

$$b = \frac{Q_{on}}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot c_r}$$

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{\omega \cdot r_1}{c_r} \right)$$

$$w_1 = \frac{\omega \cdot r_1}{\sin \beta_1}$$

$$u_1 = \omega \cdot r_1$$

### ΕΞΟΛΟΣ

$$r_2 = \frac{Q_{an}}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot c_{r_2}}$$

$$u_2 = \omega \cdot r_2$$

$$c_{u_2} = \frac{\Delta p_o}{\rho \cdot u_2}$$

$$\beta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{\omega \cdot r_2 - c_{u_2}}{c_{r_2}} \right)$$

$$w_2 = \frac{c_{r_2}}{\cos \beta_2}$$

$$c_2 = \sqrt{c_{u2}^2 + c_{r2}^2}$$

Αυτά συμβαίνουν για ιδεατή ροή, για **πραγματική ροή** και ονομαστική παροχή (που έχουμε από τα δεδομένα) το πρόγραμμα υπολογίζει:

- τον ελάχιστο συντελεστή απόκλισης  $\sigma_{\min}$
- την απόκλιση  $\Delta c_u$
- τη γωνία  $\beta'_2$
- και τον αριθμό πτερυγίων  $z$  (κατά προσέγγιση)

Για την εύρεση του αριθμού πτερυγίων  $z$  υπάρχουν τρεις διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού, που είδαμε και παραπάνω (Stodola, Stanitz και Wiesner).

Για τον υπολογισμό του ελάχιστου συντελεστή απόκλισης  $\sigma_{\min}$ , ορίζουμε πρώτα την απόδοση της αντλίας, η οποία είναι ίση με

$$n_\alpha = \frac{\Delta W_{\min}}{\Delta W}$$

όπου στην περίπτωση μας  $\Delta W = u_2 c_{u2}$ , οπότε έχουμε

$$n_\alpha = \frac{\Delta W_{\min}}{\Delta W} = \frac{u_2 \cdot c'_{u2}}{u_2 \cdot c_{u2}} = \sigma_{\min}$$

Οι πράξεις, που λαμβάνουν χώρα σε αυτό το κομμάτι του προγράμματος, είναι:

$$\sigma_{\min} = n_\alpha$$

$$c'_{u2} = \frac{c_{u2}}{\sigma_{\min}}$$

$$\Delta c_u = c'_{u2} - c_{u2}$$



$$\beta'_2 = \tan^{-1} \left( \frac{\omega \cdot r_2 - c'_{u2}}{c_{r2}} \right)$$

ή

$$z = \frac{\pi \cdot \cos \beta'_2}{(1 - \Phi_2 \cdot \tan \beta'_2) \cdot (1 - \sigma_{\min})}$$

(Stodola)

$\Phi_2 = \frac{c_{r2}}{u_2}$ , όπου  $c_{r2}$  και  $u_2$  για ονομαστική παροχή

ή

$$z = \frac{0.63 \cdot \pi}{(1 - \Phi_2 \cdot \tan \beta'_2) \cdot (1 - \sigma_{\min})}$$

(Stanitz)

ή

$$z = \left( \frac{\pi \cdot \sqrt{\cos \beta'_2}}{(1 - \Phi_2 \cdot \tan \beta'_2) \cdot (1 - \sigma_{\min})} \right)^{10/7}$$

(Wiesner)

Για τρέχουσα παροχή και πραγματική ροή ο χρήστης θα ορίσει τον αριθμό παροχών προς μελέτη “NCHAR” (όπως και στην ανάλυση), θα υπολογίσει την μέγιστη παροχή  $Q_{\max}$  και θα ξαναεκτελέσει το πρόγραμμα τις παραπάνω πράξεις, αλλά για νέα παροχή και διαφορετική  $c_{r1}$  σε κάθε επανάληψη των πράξεων μέχρι “NCHAR” φορές. Οι νέες πράξεις εδώ είναι:

$$Q_{\max} = \frac{2 \cdot r_2^2 \cdot \pi \cdot b \cdot \omega}{\tan \beta_2}$$

$$DQ = \frac{Q_{\max}}{(NCHAR - 1)}$$

$$Q_{ir} = (i - 1) \cdot DQ \quad , i_{\max} = NCHAR$$

$$c_{r1} = \frac{Q_{ir}}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot b}$$

(Το  $b$  γνωστό από τους υπολογισμούς για ονομαστική παροχή)

Όλοι οι υπόλοιποι υπολογισμοί παραμένουν, όπως πριν, για κάθε επανάληψη.

Έτσι υπολογίζονται όλα τα ζητούμενα, καθώς και η τρέχουσα παροχή, με την αντίστοιχη ισχύς  $N$ , την αντίστοιχη αύξηση πίεσης  $\Delta p_0$  και το αντίστοιχο ολικό ύψος  $H_0$ , σε πίνακες του Excel. Επίσης δίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα με αυτά της ανάλυσης.

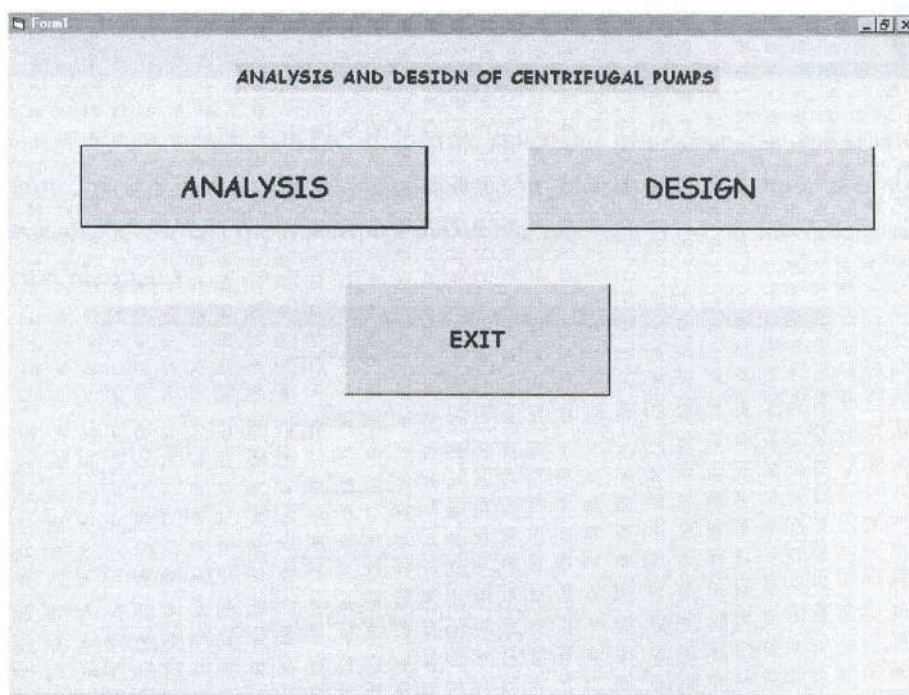
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:**  
**ΔΟΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ**

## 5.ΔΟΜΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### 5.1. Είσοδος προγράμματος

Η αρχική φόρμα, με την οποία ξεκινάει το πρόγραμμα, έχει τρία κουμπιά διαταγής (Command Buttons). Το πρώτο έχει λεζάντα “ANALYSIS” και οδηγεί τον χρήστη στο κομμάτι του προγράμματος που ασχολείται με την ανάλυση της φυγοκεντρικής αντλίας. Το δεύτερο έχει λεζάντα “DESIGN” και οδηγεί στον σχεδιασμό. Το τρίτο τερματίζει το πρόγραμμα και έχει λεζάντα “EXIT”(κουμπί που υπάρχει σε κάθε φόρμα, δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να σταματάει όποτε θέλει).

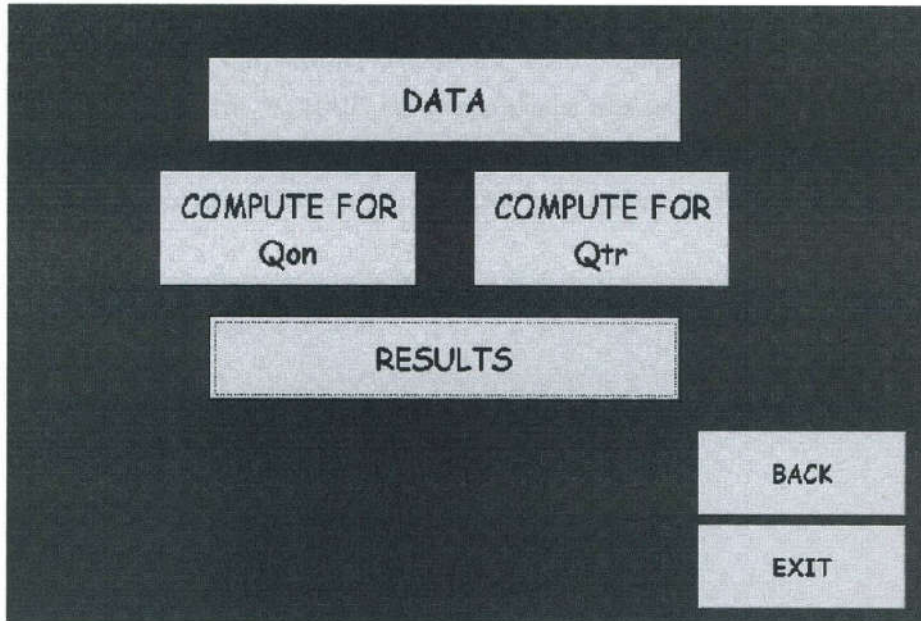
Η εικόνα στην εκκίνηση του προγράμματος είναι η παρακάτω:



Σχήμα 1

## 5.2. Ανάλυση

Πατώντας το κουμπί της ανάλυσης ο χρήστης οδηγείται στη φόρμα εκκίνησης της ανάλυσης, η οποία φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 2.



Σχήμα 2

Με το κουμπί “DATA” ο χρήστης εισέρχεται στη φόρμα των δεδομένων, όπου έχει τη δυνατότητα να συμπληρώσει τα δεδομένα με τις τιμές που τον ενδιαφέρουν να έχει η φυγοκεντρική αντλία που μελετάει. Η φόρμα των δεδομένων είναι το σχήμα 3.

Δεδομένα		
Γωνία β1	<input type="text" value="0.523"/>	rad
Γωνία β2	<input type="text" value="1.047"/>	rad
Ακτίνα r1	<input type="text" value="0.2"/>	m
Ακτίνα r2	<input type="text" value="0.35"/>	m
Πάχος b	<input type="text" value="0.05"/>	m
Αριθμός παραγών π	<input type="text" value="7"/>	
Γων. ταχύτητα ω	<input type="text" value="1000"/>	rpm

Σχήμα 3

Στο σχήμα 2 φαίνεται το κουμπί των υπολογισμών των ζητούμενων με ονομαστική παροχή (COMPUTE FOR Q<sub>on</sub>), όπου κάνει τις πράξεις που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για ονομαστική παροχή στην ιδεατή ροή. Αντίθετα το κουμπί των υπολογισμών των ζητούμενων με τρέχουσα παροχή (COMPUTE FOR Q<sub>tr</sub>) ανοίγει μια φόρμα, όπου ο χρήστης ορίζει τον αριθμό παροχών προς μελέτη “NCHAR” και το πρόγραμμα υπολογίζει την μέγιστη παροχή Q<sub>max</sub> και ξαναεκτελεί τις πράξεις, αλλά για νέα παροχή και διαφορετική γωνιά β<sub>1</sub> σε κάθε επανάληψη των πράξεων μέχρι “NCHAR” φορές. Η φόρμα φαίνεται παρακάτω:

The screenshot shows a window titled "Υπολογισμοί της τρέχουσας παροχής". It contains the following elements:

- A label: "Ο αριθμός παροχών προς μελέτη NCHAR=" followed by an empty input field.
- A button labeled "COMPUTE Q<sub>max</sub>".
- A label: "Q<sub>max</sub> =" followed by an empty input field and the unit "m<sup>3</sup>/s".
- A label: "DQ=Q<sub>max</sub>/(NCHAR-1)=" followed by an empty input field and the unit "m<sup>3</sup>/s".
- A button labeled "COMPUTE FOR Q<sub>tr</sub>".
- At the bottom right, two buttons labeled "BACK" and "EXIT".

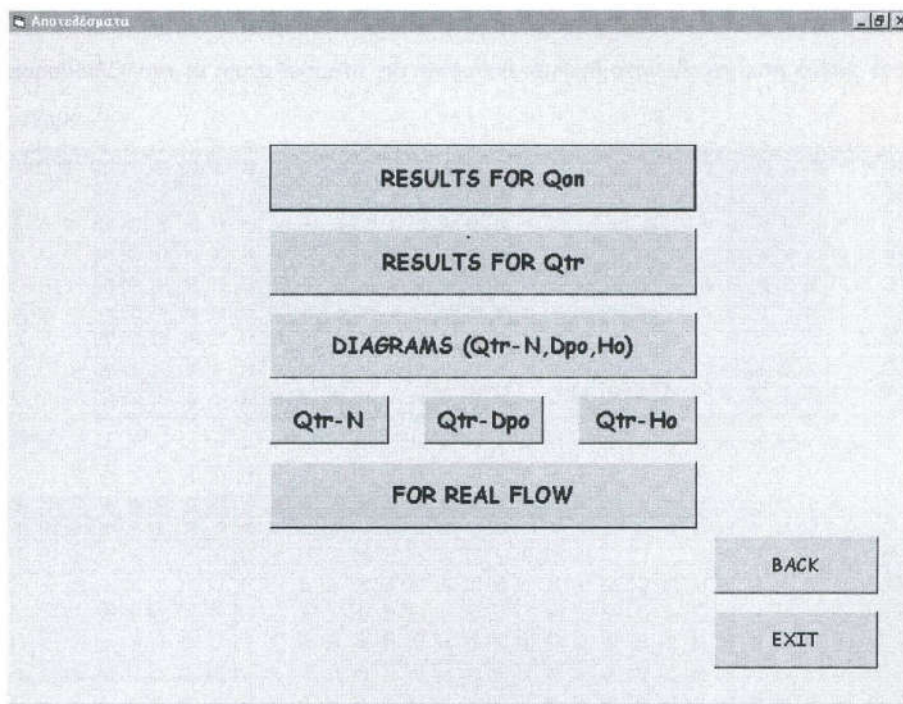
Σχήμα 4

Με το κουμπί “COMPUTE FOR Q<sub>tr</sub>” του σχήματος 4 γίνονται τις πράξεις για την εύρεση των ζητούμενων για τρέχουσα παροχή στην ιδεατή ροή, ενώ το κουμπί “COMPUTE FOR Q<sub>max</sub>” υπολογίζεται η μέγιστη παροχή.

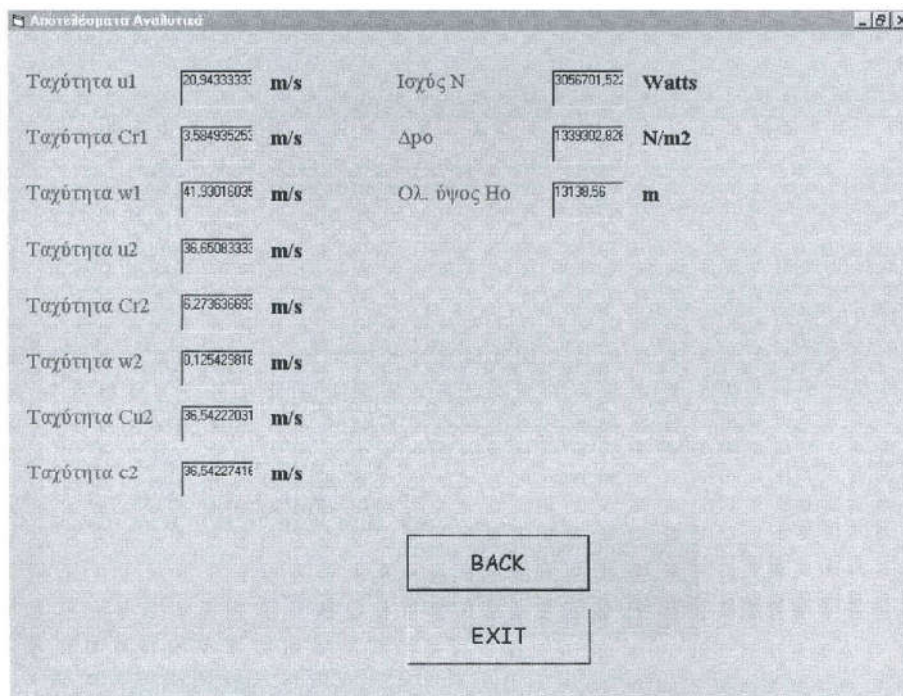
Στο σχήμα 2 υπάρχει και το κουμπί “RESULTS” όπου οδηγεί τον χρήστη στη φόρμα των αποτελεσμάτων, η οποία φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 5.

Στην φόρμα του σχήματος 5 με το πάτημα του κουμπιού “RESULTS FOR Q<sub>on</sub>” εμφανίζονται τα αποτελέσματα των πράξεων για ονομαστική παροχή (σχήμα 6)





Σχήμα 5



Σχήμα 6

Στο σχήμα 5 υπάρχει το κουμπί με τη λεζάντα "RESULTS FOR Qtr" όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τρέχουσα παροχή στην ιδεατή ροή κάτω έτσι (σχήμα 7):

NCHAR	Qtr	Cr1	β1	w1	u2
2	0.122510368774826	1.82433161753059E-03	1.57070444401957	20.9433334217398	36.6508333333333
3	0.245020737949653	3.64866323506117E-03	1.5706125512438	20.9433336869692	36.6508333333333
4	0.367531106324479	5.77239485229179E-03	1.57052067847213	20.9433341289915	36.6508333333333
5	0.490041479093306	7.69732547012235E-03	1.57042879570512	20.9433347478367	36.6508333333333
6	0.612551843874132	9.62165809765293E-03	1.57033691294431	20.9433355434943	36.6508333333333
7	0.735062212648959	1.15453895705183E-02	1.57024503019126	20.9433365199659	36.6508333333333
8	0.857572581423785	1.34703213227141E-02	1.57015314744752	20.9433376852497	36.6508333333333
9	0.980082950198612	1.53945529402447E-02	1.57006126471464	20.9433389913484	36.6508333333333
10	1.10259331897344	1.73189345577753E-02	1.56996938199417	20.9433404942559	36.6508333333333
11	1.22510368774826	1.92433161753059E-02	1.56987749928766	20.9433421739781	36.6508333333333
12	1.34761408662309	2.11676477328365E-02	1.56978561659666	20.943344030513	36.6508333333333
13	1.47012442529792	0.023091979410367	1.56969373392273	20.9433460638606	36.6508333333333
14	1.59263479407274	2.50163110278976E-02	1.56960189126742	20.9433482740208	36.6508333333333
15	1.71514515294757	2.69406426454292E-02	1.56950959663228	20.9433506698935	36.6508333333333
16	1.8376552316224	2.88649742629688E-02	1.56941806601886	20.943353247788	36.6508333333333
17	1.96016590039722	3.07893058804894E-02	1.56932620342871	20.9433559653764	36.6508333333333
18	2.08267626917205	0.03271363749802	1.56923432086339	20.9433588627864	36.6508333333333
19	2.20518663794688	3.46379631155506E-02	1.56914243632442	20.9433618770807	36.6508333333333
20	2.327697067217	3.65623007330811E-02	1.5690505558134	20.9433652480433	36.6508333333333

SHOW RESULTS

BACK

EXIT

Σχήμα 7

Microsoft Excel - Βιβλίο1

Αρχείο Επεξεργασία Προβολή Εισαγωγή Βοήθη Εργαλεία Γράφημα Παράθυρο Βοήθη

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Παροχή	Qtr	Δρο	Ho	cr1	β1	w1	u2	cr2	w2	cu2	c2
2				0								
3	0,12251	164540	1343070	13175,52	0,001924	1,570704	20,94333	36,65083	36,645	0,006733	0,003368	36,64
4	0,24502	329027,6	1342856	13173,42	0,003849	1,570613	20,94333	36,65083	36,63917	0,013466	0,006735	36,6391
5	0,36753	493462,9	1342643	13171,32	0,005773	1,570521	20,94333	36,65083	36,63334	0,020199	0,010103	36,6333
6	0,49004	657845,8	1342429	13169,23	0,007697	1,570429	20,94333	36,65083	36,62751	0,026931	0,01347	36,6275
7	0,61255	822176,4	1342215	13167,13	0,009622	1,570337	20,94334	36,65083	36,62168	0,033664	0,016838	36,6216
8	0,73506	986454,6	1342002	13165,04	0,011546	1,570245	20,94334	36,65083	36,61585	0,040397	0,020205	36,6158
9	0,85757	1150680	1341788	13162,94	0,01347	1,570153	20,94334	36,65083	36,61002	0,04713	0,023573	36,6100
10	0,98008	1314854	1341574	13160,84	0,015395	1,570061	20,94334	36,65083	36,60419	0,053863	0,026941	36,604
11	1,10259	1478975	1341360	13158,75	0,017319	1,569969	20,94334	36,65083	36,59836	0,060596	0,030308	36,5983
12	1,22510	1643044	1341147	13156,65	0,019243	1,569877	20,94334	36,65083	36,59253	0,067329	0,033676	36,5925
13	1,34761	1807060	1340933	13154,55	0,021168	1,569786	20,94334	36,65083	36,5867	0,074061	0,037043	36,5867
14	1,47012	1971024	1340719	13152,46	0,023092	1,569694	20,94335	36,65083	36,58087	0,080794	0,040411	36,5808
15	1,59263	2134936	1340506	13150,36	0,025016	1,569602	20,94335	36,65083	36,57504	0,087527	0,043779	36,5750
16	1,71514	2298795	1340292	13148,26	0,026941	1,56951	20,94335	36,65083	36,56921	0,09426	0,047146	36,5692
17	1,83766	2462602	1340078	13146,17	0,028865	1,569418	20,94335	36,65083	36,56338	0,100993	0,050514	36,5634
18	1,96016	2626357	1339865	13144,07	0,030789						0,053881	36,5575
19	2,08267	2790059	1339651	13141,98	0,032713						0,057249	36,5517
20	2,20518	2953709	1339437	13139,88	0,034637						0,060616	36,5459
21	2,32769	3117307	1339224	13137,78	0,036561						0,063984	36,5401

and vs

◆ N  
■ Δρο

Σχήμα 8

Το σχήμα 8 είναι ένα φύλλο του Excel που καταγράφει τα αποτελέσματα για τρέχουσα παροχή στην ιδεατή ροή (που παρουσιάζονται και στο σχήμα 7) και παρουσιάζει ένα γράφημα με τις χαρακτηριστικές  $Q_{tr-N}$ ,  $Q_{tr-\Delta p_0}$ ,  $Q_{tr-H_0}$ . Σε αυτή την εικόνα μπαίνει ο χρήστης με το πάτημα του κουμπιού “DIAGRAMS ( $Q_{tr-N}$ ,  $D_{p0}$ ,  $H_0$ )”, που φαίνεται στο σχήμα 5.

Παρόμοιες εικόνες για μονά διαγράμματα  $Q_{tr-N}$ ,  $Q_{tr-\Delta p_0}$ ,  $Q_{tr-H_0}$ , μπορεί να δει ο χρήστης αν πατήσει τα αντίστοιχα τρία κουμπιά, που βρίσκονται ακριβώς από κάτω από το κουμπί “DIAGRAMS ( $Q_{tr-N}$ ,  $D_{p0}$ ,  $H_0$ )”.

Επίσης στο σχήμα 5 υπάρχει το κουμπί με τη λεζάντα “FOR REAL FLOW”, όπου οδηγεί τον χρήστη στη φόρμα που ασχολείται μόνο με πραγματική ροή.

Για πραγματική ροή

Γωνία  $\beta_2$   
(η γωνία  $\beta_2$  για  
πραγματική ροή)  rad

**COMPUTE FOR  $Q_{on}$**  **COMPUTE FOR  $Q_{tr}$**

Εύρεση συντελεστή  $\sigma$  και  $\Delta c_u$  (Stodola method)

$\sigma$

$\Delta c_u$

**$Cu_2$**   m/s  **$\Delta p_0$**   N/m<sup>2</sup>

**real** **real**

**$N$**   W  **$H_0$**   m

**real** **real**

**BACK**

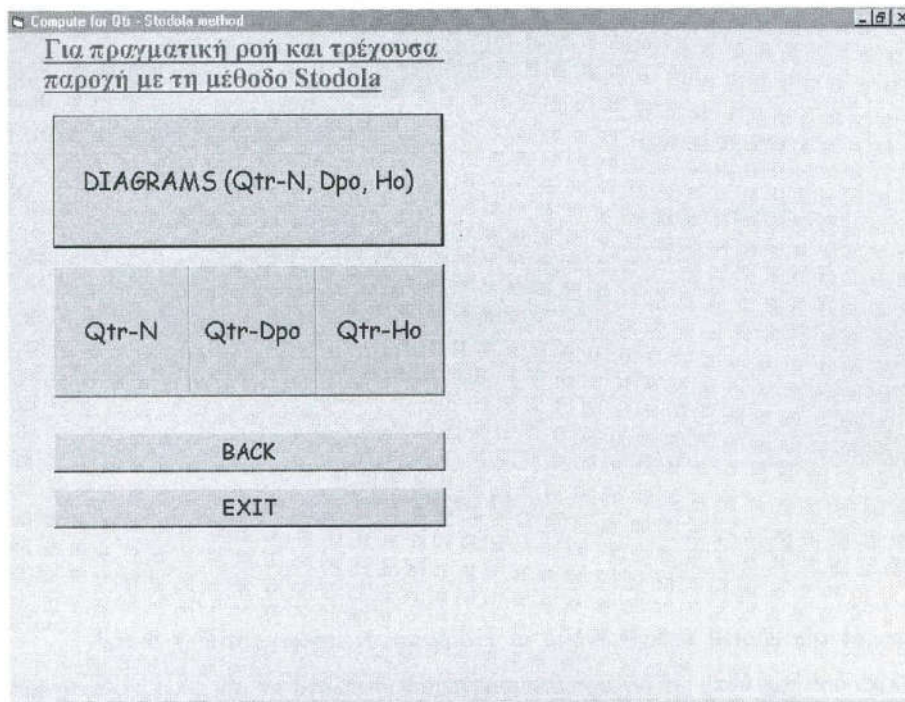
**EXIT**

Σχήμα 9

Στο παραπάνω σχήμα ο χρήστης ορίζει τη γωνία  $\beta_2$  και υπολογίζει με τη μέθοδο Stodola τον συντελεστή απόκλισης  $\sigma$  και τα υπόλοιπα ζητούμενα για πραγματική ροή και για ονομαστική και για τρέχουσα παροχή.



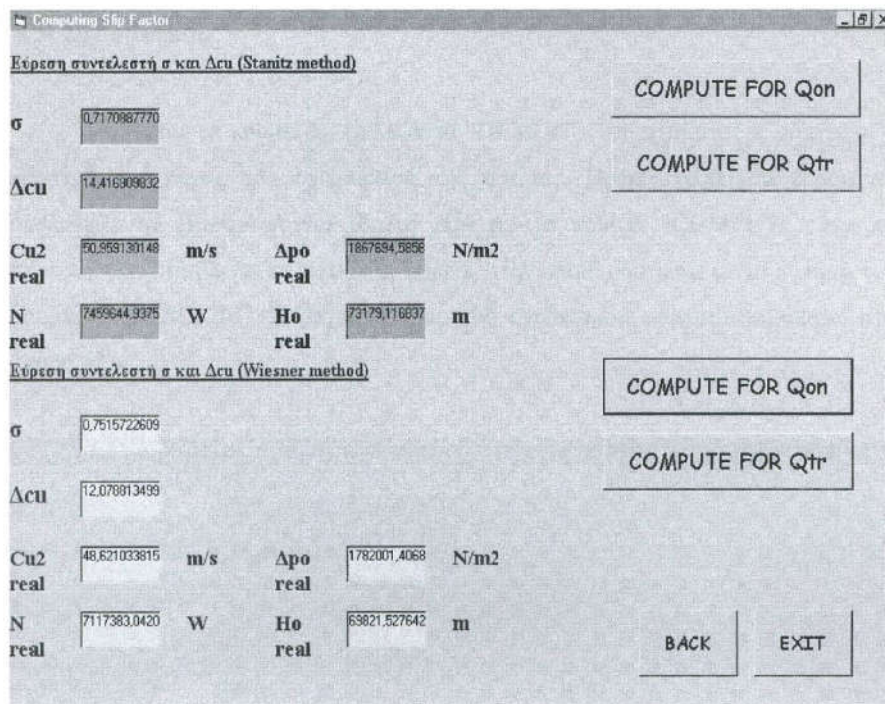
Για τρέχουσα παροχή με το κουμπί “COMPUTE FOR Qtr”, οδηγείται σε μια άλλη φόρμα, στην οποία θα μπορεί να δει παρόμοια διαγράμματα, όπως στην ιδεατή ροή. Η φόρμα αυτή έχει την παρακάτω μορφή.



Σχήμα 10

Επίσης, στο σχήμα 9, δίδεται η ευελιξία να υπολογίζεται ο συντελεστής απόκλισης και με εναλλακτικές μεθόδους πατώντας το κουμπί “ALTERNATIVE METHODS FOR COMPUTING SLIP FACTOR ( $\sigma$ )”. Έτσι θα οδηγεί σε μια νέα φόρμα, που φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 11.

Εκεί ο χρήστης υπολογίζει τα ίδια μεγέθη, που υπολόγισε με τη μέθοδο Stodola, με τις μεθόδους Stanitz και Wiesner, κρατώντας τη τιμή που όρισε στη γωνία  $\beta'2$ . Όπως και πριν, βρίσκει αποτελέσματα και στην ονομαστική και στην τρέχουσα παροχή ( με τα αντίστοιχα γραφήματα), πατώντας τα αντίστοιχα κουμπιά.



Σχήμα 11

Άρα ο χρήστης μπορεί να συγκρίνει τα αποτελέσματα μεταξύ ιδεατής και πραγματικής ροής και να βγάλει τα συμπεράσματά του για τις απώλειες που έχει η αντλία, την οποία μελετάει. Ειδικά η σύγκριση των διαγραμμάτων βοηθάει πολύ προς αυτή την κατεύθυνση.

### 5.3. Σχεδιασμός

Πατώντας το κουμπί με τη λεζάντα “DESIGN” του σχήματος 1, οδηγείται ο χρήστης στο μέρος του σχεδιασμού της αντλίας. Πρώτα ορίζει τα δεδομένα, υπολογίζει τα ζητούμενα για ιδεατή ροή με το κουμπί “COMPUTE” και τα αποτελέσματα τα βλέπει σε μια άλλη φόρμα, στην οποία οδηγείται με το πάτημα του κουμπιού “RESULTS”. Η αρχική φόρμα του σχεδιασμού φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 12.

Παροχή Q <sub>0n</sub>	0.5	m <sup>3</sup> /s
Δρ <sub>0</sub>	7000	N/m <sup>2</sup>
Ακτίνα r <sub>1</sub>	0.2	m
Γωνιακή ταχύτητα ω	800	rpm
Ταχύτητα Cr <sub>1</sub>	3.58	m/s
Ταχύτητα Cr <sub>2</sub>	6.27	m/s

Buttons: Compute, Results, Real Flow, BACK, EXIT

Σχήμα 12

Τα αποτελέσματα της ιδεατής ροής παρουσιάζονται, όπως αναφέρθηκε και πριν, με το πάτημα του κουμπιού “RESULTS” και η φόρμα εκείνη φαίνεται στο σχήμα 13.

Το κουμπί, στο σχήμα 12, με τη λεζάντα “REAL FLOW” οδηγεί τον χρήστη σε μια φόρμα, όπου θα ασχοληθεί με την πραγματική ροή του ρευστού στην αντλία. Αυτή η φόρμα φαίνεται στο σχήμα 14.



Results of Design

Παχος b	0.1111449798	m
Γωνια β1	1.36029001702	rad
Ταχύτητα w1	17.1326706033	m/s
Ταχύτητα u1	16.7546666666	m/s
Ακτινα r2	0.11419457735	m
Γωνια β2	0.95359080130	rad
Ταχύτητα u2	9.56646039340	m/s
Ταχύτητα w2	10.8335351176	m/s
Ταχύτητα Cu2	0.73172309424	m/s
Ταχύτητα c2	6.312952	m/s

BACK

EXIT

Σχήμα 13

Real Flow

**ΓΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΡΟΗ**

Απόδοση αντλίας n=	0.5	Ελάχιστος Συντελεστής σ	0.5
Μέθοδοι χρησιμοποιήσης σ	<input checked="" type="radio"/> Stodola method <input type="radio"/> Stanitz method <input type="radio"/> Wiesner method	Ταχύτητα C'u2	1.45344618848 m/s
		ΔCu	0.73172309424 m/s
		Γωνια β'2	0.91224507704 rad
		Αριθμός πτερυγίων Z	6.2836636671

Ο αριθμός παροχών προς μελέτη NCHAR= 21

COMPUTE FOR Qon	Qmax	0.54141170639	m <sup>3</sup> /s
COMPUTE FOR Qtr	DQ	2.70705663198	m <sup>3</sup> /s

BACK

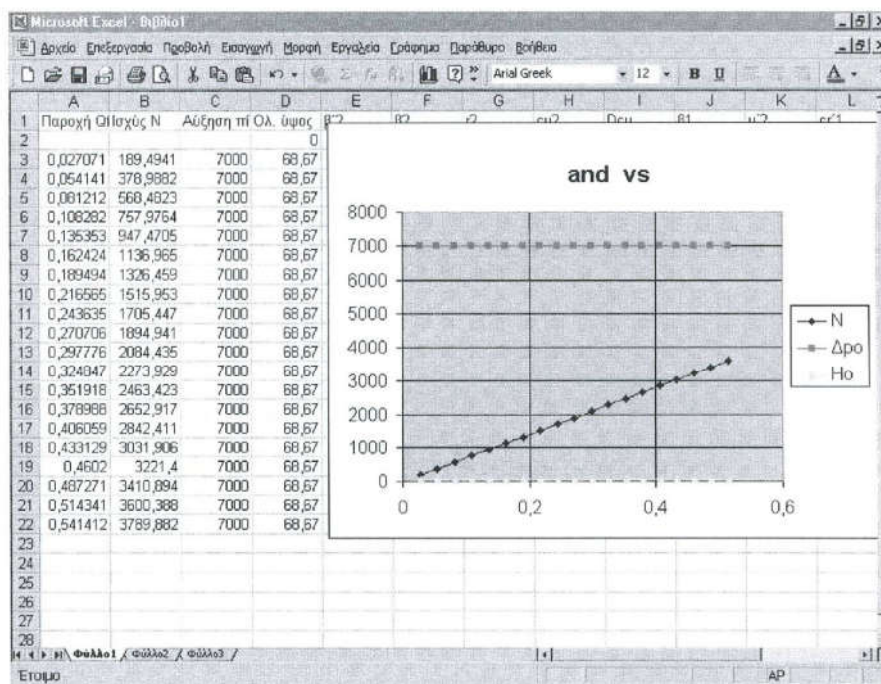
EXIT

Σχήμα 14



Όπως φαίνεται στο σχήμα 14, ο χρήστης για πραγματική ροή υπολογίζει, για ονομαστική παροχή, τον ελάχιστο συντελεστή απόκλισης  $\sigma_{\min}$ , την απόκλιση  $\Delta c_u$ , τη γωνία  $\beta'_2$  και τον αριθμό πτερυγίων  $z$  (κατά προσέγγιση) με το κουμπί “COMPUTE FOR Qon”.

Ομοίως με το πάτημα του κουμπιού “COMPUTE FOR Qtr” του ίδιου σχήματος, ο χρήστης έχει, σε πίνακα του Excel και διαγραμματικά, τα αποτελέσματα στην πραγματική ροή του ρευστού για τρέχουσα παροχή. Η εικόνα των αποτελεσμάτων είναι κάπως έτσι:



Σχήμα 15

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:**  
**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

## 6.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή των αποτελεσμάτων ενός παραδείγματος, δηλαδή μιας εφαρμογής του προγράμματος με συγκεκριμένα δεδομένα. Τα δεδομένα δεν επιλέχθηκαν από ένα συγκεκριμένο μοντέλο αντλίας, αλλά είναι τυχαία. Άλλωστε το πρόγραμμα δημιουργήθηκε για τη μελέτη αντλιών που δεν έχουν κατασκευαστεί, αλλά θα ενδιέφερε έναν μηχανικό να σχεδιάσει.

Τα δεδομένα, που επιλέχθηκαν για το παράδειγμα στο μέρος της ανάλυσης, είναι:

- $\beta_1 = 0.523$  rad (30 μοίρες)
- $\beta_2 = 1.047$  rad (60 μοίρες)
- $r_1 = 0.2$  m
- $r_2 = 0.35$  m
- $b = 0.05$  m
- $z = 7$
- $\omega = 1000$  rpm (το πρόγραμμα πολλαπλασιάζει την τιμή με  $2\pi/60$  και διορθώνει τη μονάδα από rpm σε rad/s)

Δεδομένα		
Γωνία $\beta_1$	<input type="text" value="0.523"/>	rad
Γωνία $\beta_2$	<input type="text" value="1.047"/>	rad
Ακτίνα $r_1$	<input type="text" value="0.2"/>	m
Ακτίνα $r_2$	<input type="text" value="0.35"/>	m
Πάχος $b$	<input type="text" value="0.05"/>	m
Αριθμός πεταργιών $z$	<input type="text" value="7"/>	
Γων. ταχύτητα $\omega$	<input type="text" value="1000"/>	rpm

Οπότε τα αποτελέσματα για ονομαστική παροχή στην ιδεατή ροή είναι:

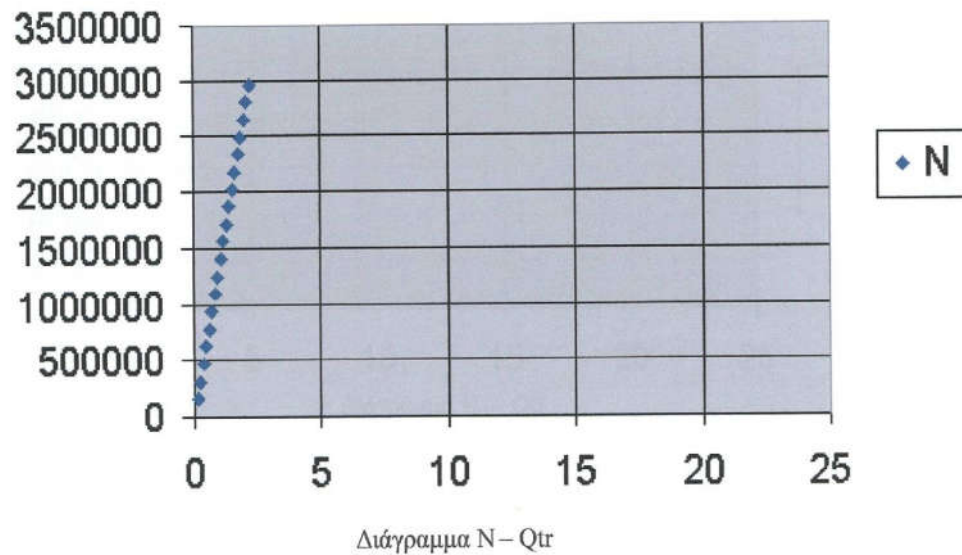
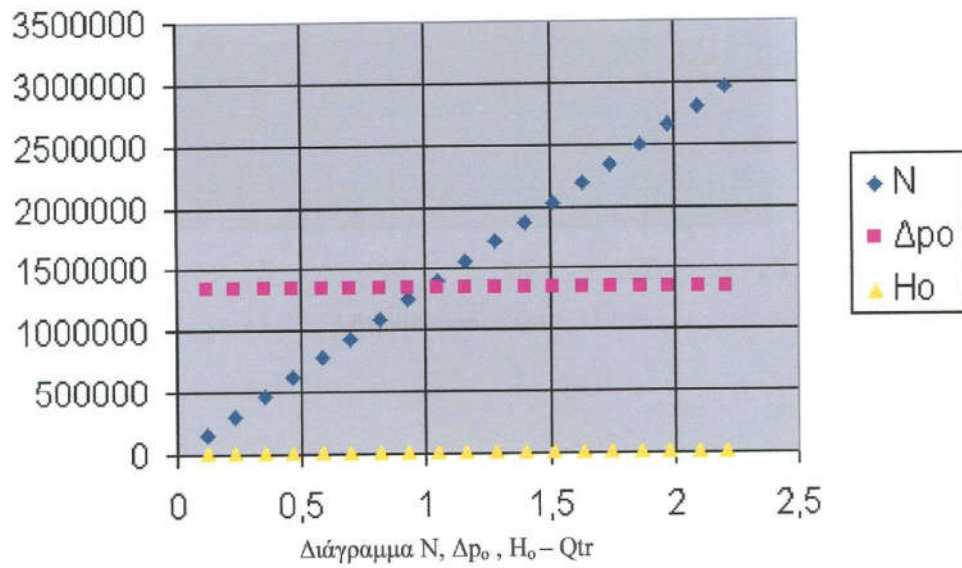
- $u_1 = 20.943 \text{ m/s}$
- $c_{r1} = 3.584 \text{ m/s}$
- $w_1 = 41.93 \text{ m/s}$
- $u_2 = 36.65 \text{ m/s}$
- $c_{r2} = 6.273 \text{ m/s}$
- $w_2 = 0.125 \text{ m/s}$
- $c_{u2} = 36.542 \text{ m/s}$
- $c_2 = 37.036 \text{ m/s}$
- $N = 3056701.52 \text{ Watts}$
- $\Delta p_0 = 1339302.82 \text{ N/m}^2$
- $H_0 = 13138.56 \text{ m}$

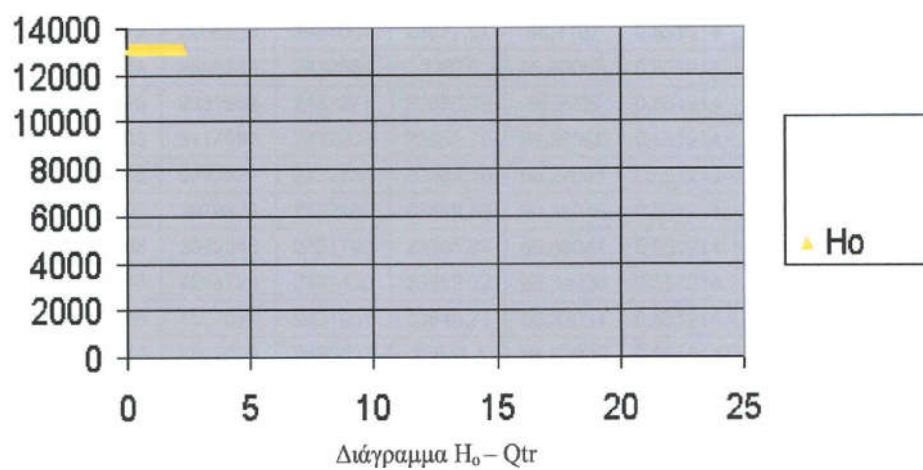
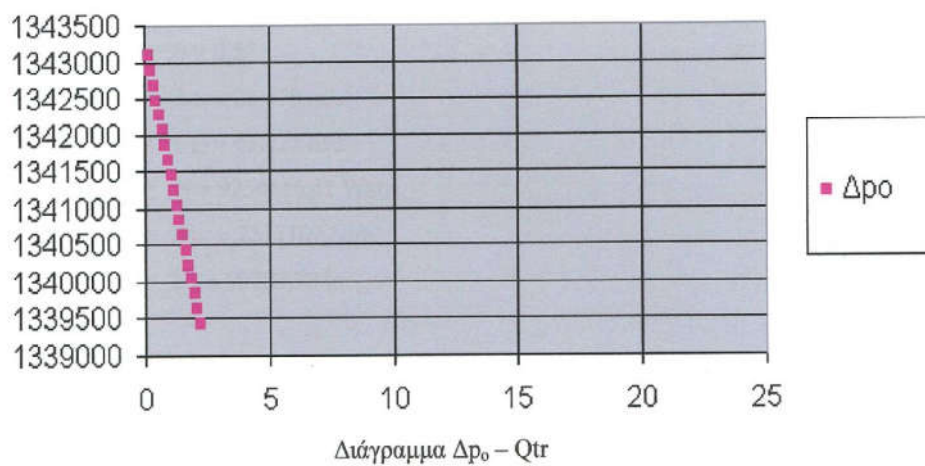
Επίσης τα αποτελέσματα για τρέχουσα παροχή στην ιδεατή ροή είναι:

Παροχή Qlitrl/σχύς N	Δρο	Ho	cr'1	β'1	w'1	u'2	cr'2	w'2	cu'2	c'2
		0								
0,116385	156314,2	13175,62	0,001828	1,570709	20,94333	36,65083	36,64529	0,006396	0,003199	36,64529
0,23277	312581,2	13173,63	0,003656	1,570622	20,94333	36,65083	36,63976	0,012792	0,006398	36,63976
0,349155	468800,9	13171,64	0,005484	1,570534	20,94333	36,65083	36,63422	0,019189	0,009598	36,63422
0,465539	624973,4	13169,65	0,007312	1,570447	20,94333	36,65083	36,62868	0,025585	0,012797	36,62868
0,581924	781098,7	13167,66	0,009141	1,57036	20,94334	36,65083	36,62314	0,031981	0,015996	36,62314
0,698309	937176,6	13165,66	0,010969	1,570273	20,94334	36,65083	36,6176	0,038377	0,019195	36,61761
0,814694	1093207	13163,67	0,012797	1,570185	20,94334	36,65083	36,61206	0,044773	0,022394	36,61207
0,931079	1249191	13161,68	0,014625	1,570098	20,94334	36,65083	36,60652	0,05117	0,025594	36,60653
1,047464	1405127	13159,69	0,016453	1,570011	20,94334	36,65083	36,60099	0,057566	0,028793	36,601
1,163849	1561016	13157,7	0,018281	1,569923	20,94334	36,65083	36,59545	0,063962	0,031992	36,59546
1,280233	1716858	13155,71	0,020109	1,569836	20,94334	36,65083	36,58991	0,070358	0,035191	36,58993
1,396618	1872652	13153,71	0,021937	1,569749	20,94334	36,65083	36,58437	0,076755	0,03839	36,58439
1,513003	2028399	13151,72	0,023765	1,569662	20,94335	36,65083	36,57883	0,083151	0,04159	36,57885
1,629388	2184099	13149,73	0,025594	1,569574	20,94335	36,65083	36,57329	0,089547	0,044789	36,57332
1,745773	2339752	13147,74	0,027422	1,569487	20,94335	36,65083	36,56775	0,095943	0,047988	36,56779
1,862158	2495358	13145,75	0,02925	1,5694	20,94335	36,65083	36,56221	0,102339	0,051187	36,56225
1,978542	2650916	13143,76	0,031078	1,569312	20,94336	36,65083	36,55668	0,108736	0,054386	36,55672
2,094927	2806427	13141,77	0,032906	1,569225	20,94336	36,65083	36,55114	0,115132	0,057586	36,55118
2,211312	2961890	13139,78	0,034734	1,569138	20,94336	36,65083	36,5456	0,121528	0,060785	36,54565
2,327697	3117307	13137,78	0,036562	1,569051	20,94337	36,65083	36,54006	0,127924	0,063984	36,54012



Τα διαγράμματα που προκύπτουν από εδώ είναι τα παρακάτω:







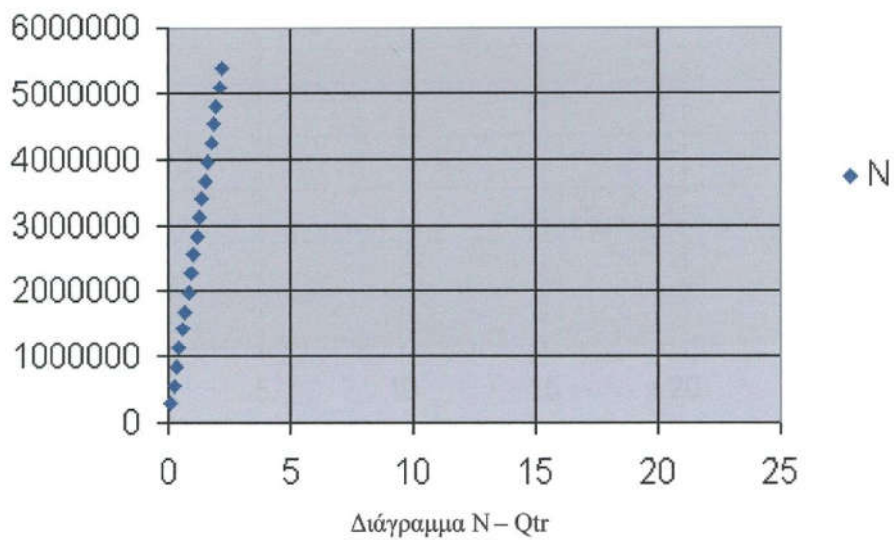
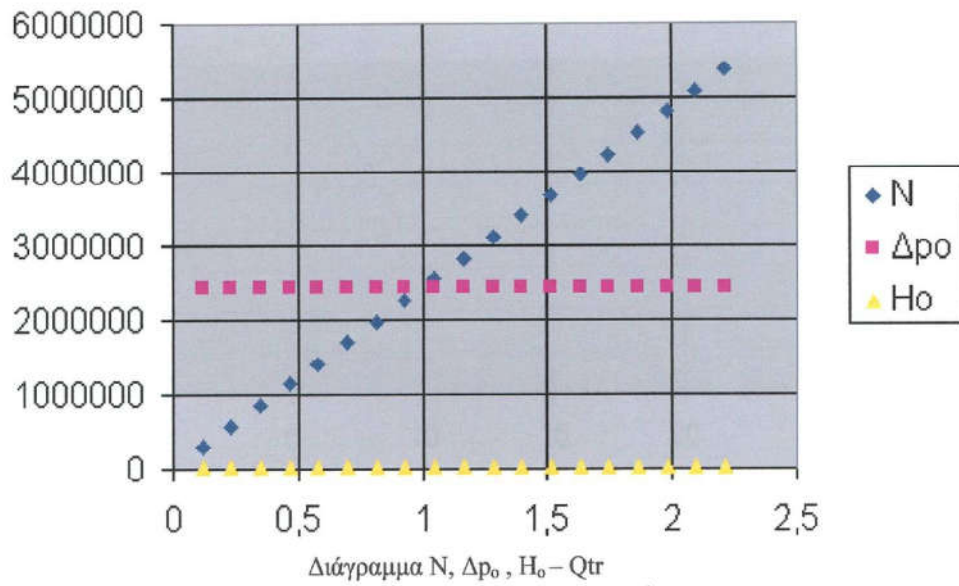
Στην πραγματική ροή για ονομαστική παροχή (με  $\beta'_2 = 0.349$  rad) με τη μέθοδο Stodola τα αποτελέσματα είναι:

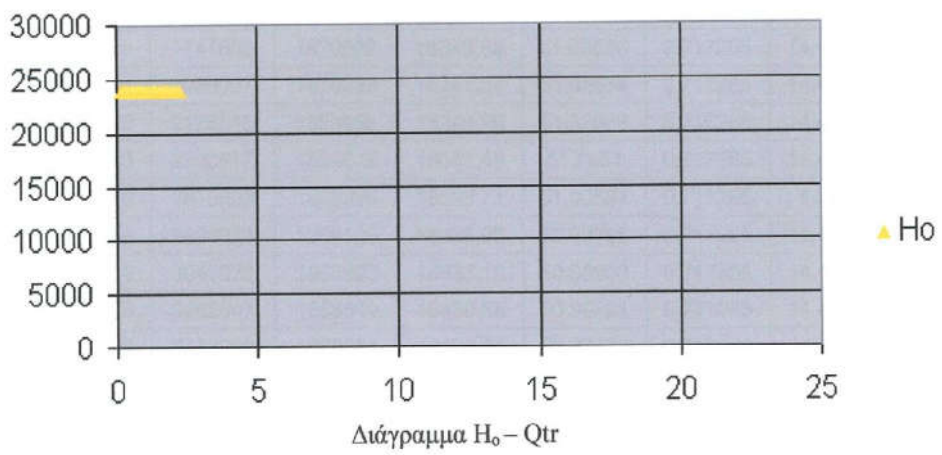
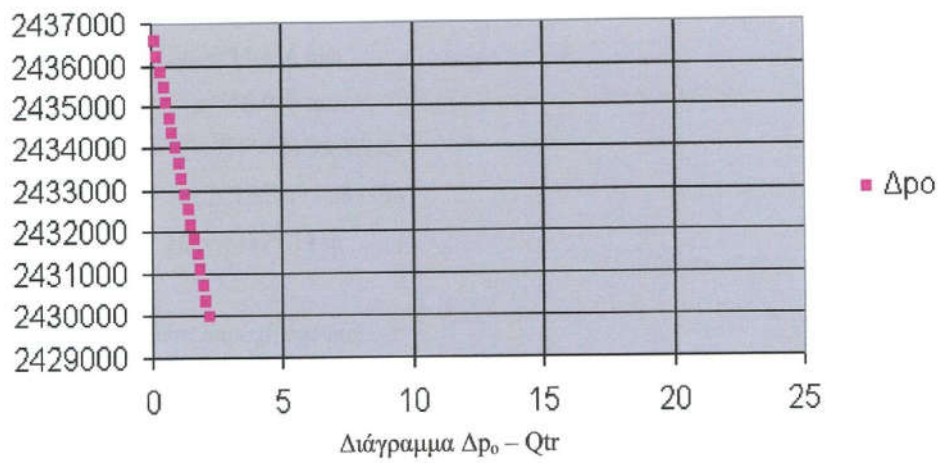
- $\sigma = 0.57$
- $\Delta c_u = 26.678$  m/s
- $c'_{u2} = 63.221$  m/s
- $N = 9254616,41$  Watts
- $\Delta p_o = 2317107$  N/m<sup>2</sup>
- $H_o = 90787,78$  m

Και για τρέχουσα παροχή έχουμε:

Παροχή Qtr	Ισχύς N	$\Delta p_o$	$H_o$	Realcu'2	Slip Factor	$Dc_u$
			0	0		
0,116385	283581,6	2436585	23902,9	66,48103	0,551214	29,83574
0,23277	567077,5	2436217	23899,29	66,47099	0,551214	29,83123
0,349155	850487,7	2435849	23895,68	66,46094	0,551214	29,82672
0,465539	1133812	2435480	23892,06	66,45089	0,551214	29,82221
0,581924	1417051	2435112	23888,45	66,44084	0,551214	29,8177
0,698309	1700204	2434744	23884,84	66,43079	0,551214	29,81319
0,814694	1983271	2434376	23881,22	66,42075	0,551214	29,80868
0,931079	2266253	2434007	23877,61	66,4107	0,551214	29,80417
1,047464	2549149	2433639	23874	66,40065	0,551214	29,79966
1,163849	2831959	2433271	23870,39	66,3906	0,551214	29,79515
1,280233	3114683	2432903	23866,78	66,38055	0,551214	29,79064
1,396618	3397322	2432534	23863,16	66,37051	0,551214	29,78613
1,513003	3679875	2432166	23859,55	66,36046	0,551214	29,78162
1,629388	3962342	2431798	23855,94	66,35041	0,551214	29,77711
1,745773	4244724	2431430	23852,32	66,34036	0,551214	29,77261
1,862158	4527019	2431061	23848,71	66,33031	0,551214	29,7681
1,978542	4809229	2430693	23845,1	66,32026	0,551214	29,76359
2,094927	5091353	2430324	23841,48	66,31021	0,551214	29,75908
2,211312	5373392	2429956	23837,87	66,30016	0,551214	29,75457
2,327697	5655345	2429588	23834,26	66,29012	0,551214	29,75006

Τα διαγράμματα εδώ είναι:





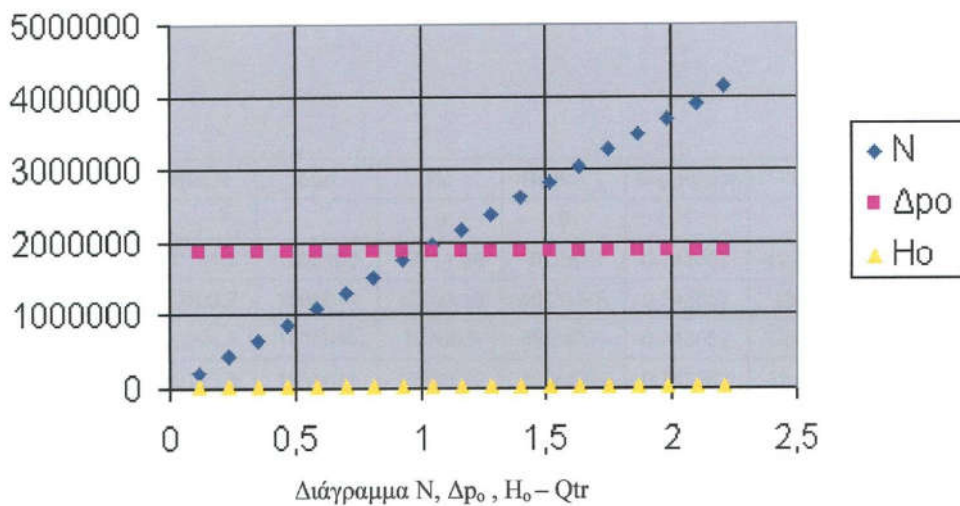
Στην πραγματική ροή για ονομαστική παροχή (με  $\beta'_2 = 0.349$  rad) με τη μέθοδο Stanitz τα αποτελέσματα είναι:

- $\sigma = 0.71$
- $\Delta c_u = 14.416$  m/s
- $c'_{u2} = 50.959$  m/s
- $N = 7559644.93$  Watts
- $\Delta p_o = 1867694.58$  N/m<sup>2</sup>
- $H_o = 73179.11$  m

Και για τρέχουσα παροχή έχουμε:

Παροχή Qtr	Ισχύς N	Δpo	Ho	Realcu'2	Slip Factor	Dcu
			0	0		
0,116385	217930,9	1872503	18369,25	51,09031	0,717265	14,44502
0,23277	435796	1872220	18366,47	51,08259	0,717265	14,44284
0,349155	653595,2	1871937	18363,7	51,07487	0,717265	14,44065
0,465539	871328,5	1871654	18360,92	51,06715	0,717265	14,43847
0,581924	1088996	1871370	18358,14	51,05943	0,717265	14,43629
0,698309	1306597	1871088	18355,37	51,0517	0,717265	14,4341
0,814694	1524133	1870805	18352,59	51,04398	0,717265	14,43192
0,931079	1741603	1870522	18349,82	51,03626	0,717265	14,42974
1,047464	1959007	1870238	18347,04	51,02854	0,717265	14,42755
1,163849	2176345	1869955	18344,26	51,02082	0,717265	14,42537
1,280233	2393617	1869672	18341,49	51,0131	0,717265	14,42319
1,396618	2610823	1869389	18338,71	51,00537	0,717265	14,421
1,513003	2827964	1869106	18335,93	50,99765	0,717265	14,41882
1,629388	3045038	1868823	18333,16	50,98993	0,717265	14,41664
1,745773	3262047	1868540	18330,38	50,98221	0,717265	14,41445
1,862158	3478990	1868257	18327,61	50,97449	0,717265	14,41227
1,978542	3695866	1867974	18324,83	50,96676	0,717265	14,41009
2,094927	3912678	1867691	18322,05	50,95904	0,717265	14,4079
2,211312	4129423	1867408	18319,28	50,95132	0,717265	14,40572
2,327697	4346102	1867125	18316,5	50,9436	0,717265	14,40354

Και το διάγραμμα που έχουμε εδώ είναι:



Στην πραγματική ροή για ονομαστική παροχή (με  $\beta'_2 = 0.349 \text{ rad}$ ) με τη μέθοδο Wiesner τα αποτελέσματα είναι:

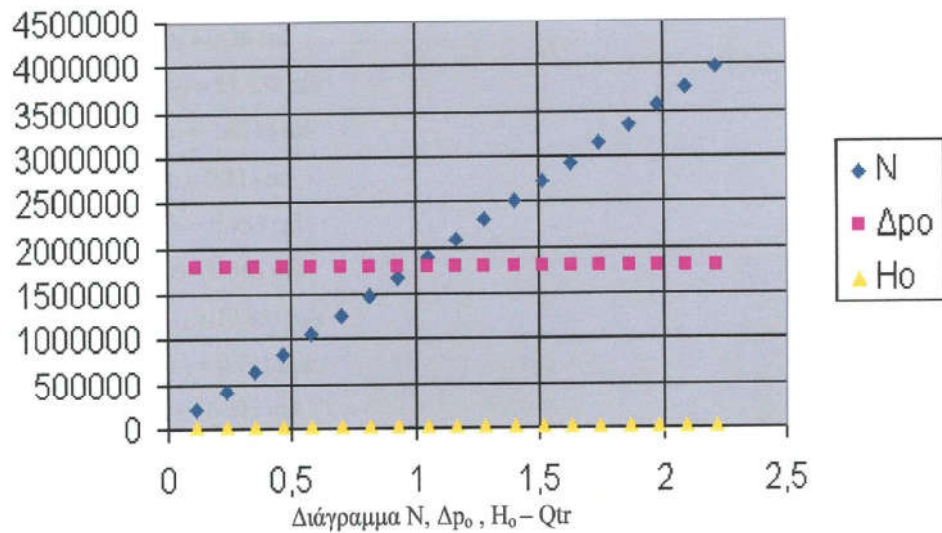
- $\sigma = 0.75$
- $\Delta c_u = 12.078 \text{ m/s}$
- $c'_{u2} = 48.621 \text{ m/s}$
- $N = 1782001.4 \text{ Watts}$
- $\Delta p_0 = 1782001.4 \text{ N/m}^2$
- $H_0 = 69821.52 \text{ m}$



Και για τρέχουσα παροχή έχουμε:

Παροχή Qtr	Ισχύς N	Δρο	Ho	Realcu'2	Slip Factor	Dcu
			0	0		
0,116385	210131,7	1805490	17711,86	49,2619	0,743887	12,61661
0,23277	420199,8	1805217	17709,18	49,25446	0,743887	12,6147
0,349155	630204,4	1804944	17706,5	49,24701	0,743887	12,61279
0,465539	840145,5	1804671	17703,82	49,23956	0,743887	12,61089
0,581924	1050023	1804398	17701,14	49,23212	0,743887	12,60898
0,698309	1259837	1804125	17698,47	49,22467	0,743887	12,60707
0,814694	1469588	1803852	17695,79	49,21723	0,743887	12,60516
0,931079	1679275	1803580	17693,12	49,20978	0,743887	12,60326
1,047464	1888898	1803307	17690,44	49,20234	0,743887	12,60135
1,163849	2098458	1803034	17687,76	49,19489	0,743887	12,59944
1,280233	2307955	1802761	17685,08	49,18745	0,743887	12,59754
1,396618	2517388	1802488	17682,41	49,18	0,743887	12,59563
1,513003	2726757	1802215	17679,73	49,17255	0,743887	12,59372
1,629388	2936063	1801942	17677,05	49,16511	0,743887	12,59182
1,745773	3145305	1801669	17674,38	49,15766	0,743887	12,58991
1,862158	3354484	1801396	17671,7	49,15022	0,743887	12,588
1,978542	3563599	1801124	17669,02	49,14277	0,743887	12,5861
2,094927	3772651	1800851	17666,35	49,13533	0,743887	12,58419
2,211312	3981639	1800578	17663,67	49,12788	0,743887	12,58228
2,327697	4190564	1800305	17660,99	49,12043	0,743887	12,58037

Και το διάγραμμα που έχουμε εδώ είναι:



Στο μέρος του προγράμματος, που ασχολείται με τον σχεδιασμό μιας φυγοκεντρικής αντλίας, οι τιμές των δεδομένων, που επιλέχθηκαν για το παράδειγμα, είναι:

- $Q_{0n} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\Delta p_0 = 7000 \text{ N/m}^2$
- $r_1 = 0.2 \text{ m}$
- $\omega = 800 \text{ rpm}$
- $c_{r1} = 3.58 \text{ m/s}$
- $c_{r2} = 6.27 \text{ m/s}$



Τα αποτελέσματα για ιδεατή ροή είναι:

- $b = 0.111 \text{ m}$
- $\beta_1 = 1.36 \text{ rad}$
- $w_1 = 17.132 \text{ m/s}$
- $u_1 = 16.754 \text{ m/s}$
- $r_2 = 0.114 \text{ m}$
- $\beta_2 = 0.953 \text{ rad}$
- $u_2 = 9.566 \text{ m/s}$
- $w_2 = 10.833 \text{ m/s}$
- $c_{u2} = 0.731 \text{ m/s}$
- $c_2 = 6.312 \text{ m/s}$

Για πραγματική ροή τα αποτελέσματα εξαρτώνται και από άλλες παραμέτρους, που θα ορίσει ο χρήστης. Στο παράδειγμα μας, θεωρήθηκε:

- Απόδοση αντλίας  $\eta = 0.5$
- Εργαζόμαστε με τη μέθοδο Stodola

Οπότε είχαμε, για ονομαστική παροχή, τα εξής αποτελέσματα:

- $\sigma = 0.5$
- $c'_{u2} = 1.436 \text{ m/s}$
- $\Delta c_u = 0.731 \text{ m/s}$
- $\beta'_2 = 0.912 \text{ rad}$
- $z = 6.28$  (κατά προσέγγιση 7)

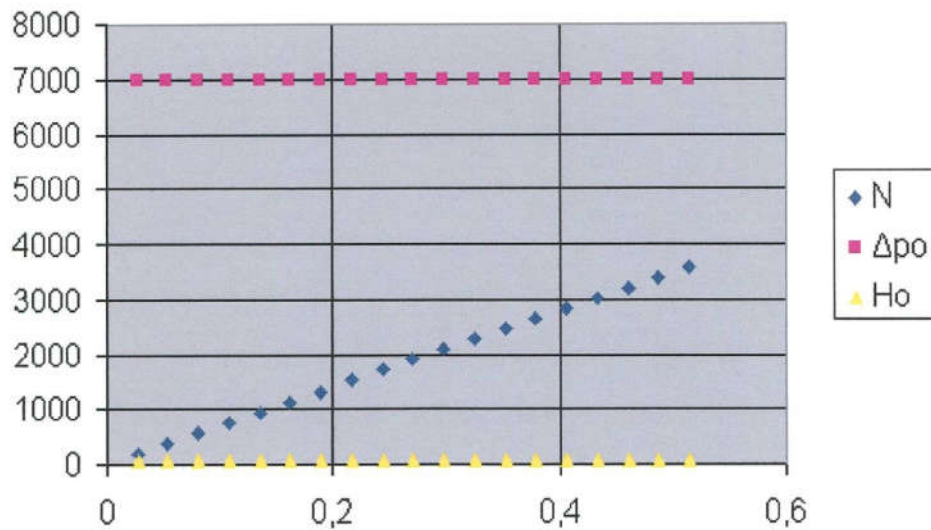
Για τρέχουσα παροχή έχουμε:

Παροχή Qtr	Ισχύς N	Αύξηση τιμής	Ολ. ύψος	$\beta^2$	r2	cu2	Dcu	$\beta_1$	u'2	cr'1	cu'2	c'2
			0									
0,027071	189,4941	7000	68,67	-1,12132	0,006183	13,5151	-12,8715	1,559228	0,517939	0,193825	0,643576	14,89668
0,054141	378,9882	7000	68,67	-0,7397	0,012365	6,757548	-6,43576	1,547664	1,035879	0,387651	0,321788	9,218316
0,081212	568,4823	7000	68,67	0,210441	0,018548	4,505032	-4,29051	1,536105	1,553818	0,581476	0,214525	7,720635
0,108282	757,9764	7000	68,67	0,295821	0,024731	3,378774	-3,21788	1,524556	2,071757	0,775302	0,160894	7,12243
0,135353	947,4705	7000	68,67	0,374025	0,030913	2,703019	-2,5743	1,513018	2,589697	0,969127	0,128715	6,827826
0,162424	1136,965	7000	68,67	0,446323	0,037096	2,252516	-2,14525	1,501497	3,107636	1,162952	0,107263	6,662337
0,189494	1326,459	7000	68,67	0,513208	0,043278	1,930728	-1,83879	1,489994	3,625576	1,356778	0,091939	6,560534
0,216565	1515,953	7000	68,67	0,57498	0,049461	1,689387	-1,60894	1,478512	4,143515	1,550603	0,080447	6,493607
0,243635	1705,447	7000	68,67	0,631913	0,055644	1,501677	-1,43017	1,467054	4,661454	1,744429	0,071508	6,44732
0,270706	1894,941	7000	68,67	0,684298	0,061826	1,35151	-1,28715	1,455624	5,179394	1,938254	0,064358	6,414006
0,297776	2084,435	7000	68,67	0,732447	0,068009	1,228645	-1,17014	1,444224	5,697333	2,132079	0,058507	6,389246
0,324847	2273,929	7000	68,67	0,776682	0,074192	1,126258	-1,07263	1,432857	6,215272	2,325905	0,053631	6,37035
0,351918	2463,423	7000	68,67	0,817325	0,080374	1,039623	-0,99012	1,421525	6,733212	2,51973	0,049506	6,355605
0,378988	2652,917	7000	68,67	0,854687	0,086557	0,965364	-0,91939	1,410232	7,251151	2,713555	0,04597	6,343881
0,406059	2842,411	7000	68,67	0,889067	0,092739	0,901006	-0,8581	1,398981	7,76909	2,907381	0,042905	6,334407
0,433129	3031,906	7000	68,67	0,920739	0,098922	0,844693	-0,80447	1,387773	8,28703	3,101206	0,040223	6,326643
0,4602	3221,4	7000	68,67	0,94996	0,105105	0,795006	-0,75715	1,376611	8,804969	3,295032	0,037857	6,3202
0,487271	3410,894	7000	68,67	0,97696	0,111287	0,750839	-0,71508	1,365498	9,322909	3,488857	0,035754	6,314797
0,514341	3600,388	7000	68,67	1,001951	0,11747	0,711321	-0,67745	1,354436	9,840848	3,682682	0,033872	6,31022
0,541412	3789,882	7000	68,67	1,025122	0,123653	0,675755	-0,64358	1,343428	10,356879	3,876508	0,032179	6,30631

Συνέχεια αποτελεσμάτων

w'2	cu'2	c'2
14,43049	0,643576	14,89868
8,488251	0,321788	9,218316
6,929831	0,214525	7,720635
6,404779	0,160894	7,12243
6,271024	0,128715	6,827826
6,328043	0,107263	6,662337
6,49503	0,091939	6,560534
6,733175	0,080447	6,493607
7,021189	0,071508	6,44732
7,346128	0,064358	6,414006
7,699485	0,058507	6,389246
8,075331	0,053631	6,37035
8,469348	0,049506	6,355605
8,878289	0,04597	6,343881
9,299649	0,042905	6,334407
9,731458	0,040223	6,326643
10,17214	0,037857	6,3202
10,62042	0,035754	6,314797
11,07525	0,033872	6,31022
11,53577	0,032179	6,30631

Και έχουμε το παρακάτω διάγραμμα:



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:**  
**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## 7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 7.1. Χαρακτηριστικές καμπύλες

Με μια καλή παρατήρηση στα διαγράμματα της ανάλυσης του προηγούμενου κεφαλαίου, μπορεί κάποιος να βγάλει ορισμένα συμπεράσματα για την πορεία των χαρακτηριστικών καμπυλών. Οι απλές παρατηρήσεις για τα παραπάνω είναι:

- ❖ Με αύξηση της παροχής έχουμε αύξηση της ισχύος  $N$
- ❖ Με αύξηση της παροχής έχουμε μείωση της  $\Delta p_0$
- ❖ Με αύξηση της παροχής έχουμε μείωση του ολικού ύψους  $H_0$

Τα παραπάνω συμφωνούν με τη θεωρία των χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας στις φυγοκεντρικές αντλίες. Άλλωστε αυτή έπρεπε να είναι η πορεία των διαγραμμάτων σύμφωνα με τους τύπους

$$N = \frac{\gamma}{\rho} \cdot Q \cdot (c_{u2} \cdot r_2 - c_{u1} \cdot r_1) \quad , c_{u1}=0$$

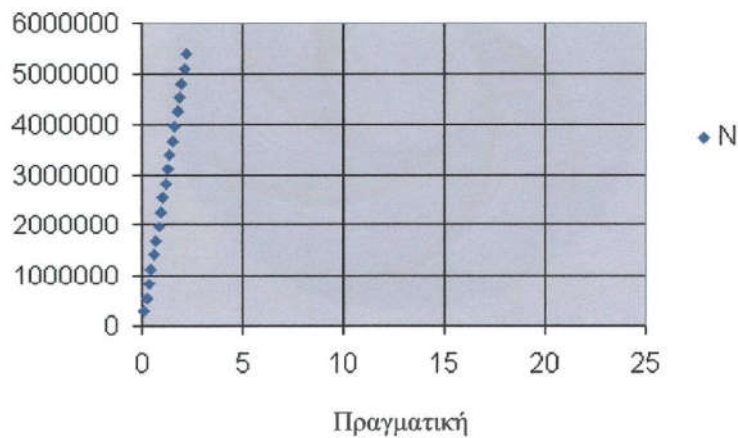
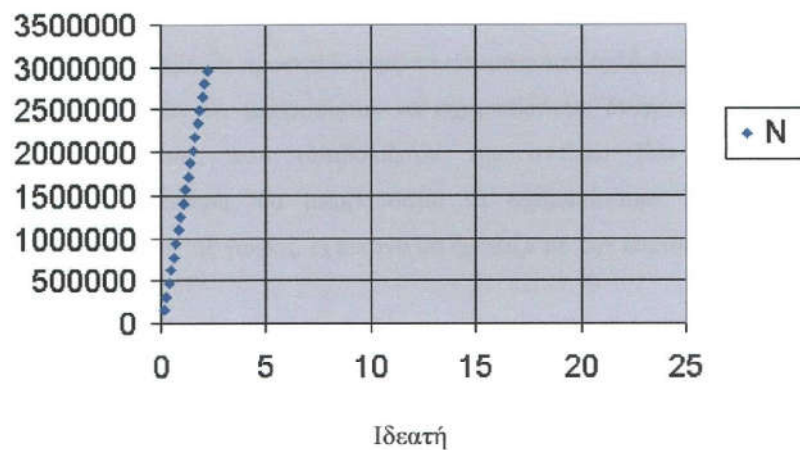
$$\Delta p_0 = \frac{N}{Q}$$

$$H_0 = \frac{\Delta p_0}{\rho \cdot g}$$

Οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι το πρόγραμμα ανταποκρίνεται στις ανάγκες του χρήστη και εκτελεί σωστά τις πράξεις, που του θέσαμε να κάνει.

## 7.2. Σύγκριση ιδεατής-πραγματικής ροής

Με βάση αυτά, που είδαμε στα αποτελέσματα της ανάλυσης, η συμπεριφορά των αντίστοιχων διαγραμμάτων, στην ιδεατή και πραγματική ροή, είναι ίδια. Όμως, όπως είναι φυσικό, **στην πραγματική ροή έχουμε διαφορετικές τιμές στα αποτελέσματα, πράγμα που φανερώνει ότι έχουμε απώλειες.** Άρα, ακόμα μια φορά, **το πρόγραμμα συμφωνεί με τη θεωρία.** Παρακάτω βάζουμε σε αντιπαράθεση τα διαγράμματα N-Qtr στην ιδεατή και πραγματική ροή αντίστοιχα.



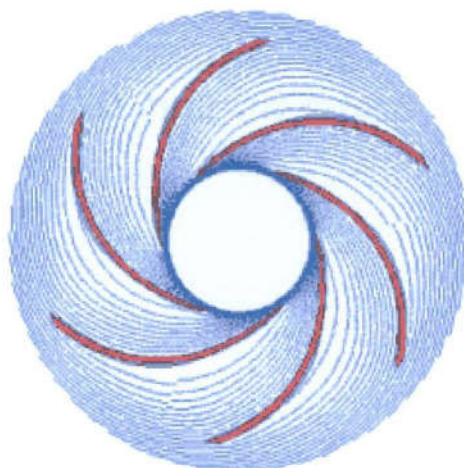


### 7.3. Αποτελέσματα σχεδιασμού

Στον σχεδιασμό μπορούμε να πούμε ότι παίρνουμε τα αποτελέσματα, που μας αρκούν, για να έχουμε μια εικόνα της αντλίας. Έχοντας δεδομένο την ακτίνα εισόδου, βρίσκουμε και το πάχος της αντλίας, την ακτίνα εξόδου, τον αριθμό πτερυγίων και τις γωνίες  $\beta_1, \beta_2, \beta'_2$ , άρα συμπερασματικά έχουμε μια πλήρη εικόνα της αντλίας.

### 7.4. Προεκτάσεις

Θα μπορούσαμε να προεκτείνουμε το κομμάτι του σχεδιασμού, αφού έχοντας τις τιμές των ακτινών θα μπορούσαμε να σχηματίσουμε διαγραμματικά τους δύο ομόκεντρους κύκλους, που συμβολίζουν την αντλία. Και αν θέλαμε να προχωρήσουμε παραπέρα, θα μπορούσαμε να σχηματίσουμε και τα πτερύγια, εκμεταλλευόμενοι και τις γωνίες. Η εικόνα θα έμοιαζε με την παρακάτω:





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ Βιβλίο «**αντλίες**» του ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Β. ΑΚΡΙΤΙΔΗ, καθηγητή Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις ΓΙΑΧΟΥΔΗ-ΓΙΑΠΟΥΛΗ, Θεσσαλονίκη 1985.
- ✓ Άρθρο του ΕΡΩΤΟΚΡΙΤΟΥ ΤΣΙΓΚΑ, Μηχανολόγο Ηλεκτρολόγο Μηχ., με βιβλιογραφία:
  - KSB - ΑΝΤΛΙΕΣ, Μετάφραση και έκδοση από το Σύλλογο Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων Β. Ε. Διπλωματούχων Ανωτάτων Σχολών, Θεσσαλονίκη 1986.
  - ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ, Ιωάννη Μ. Μαυρουδή, Εκδόσεις Επτάλοφος, Αθήνα 1994.
  - PRACTICAL PLUMBING ENGINEERING, C. M. Harris, Εκδόσεις McGraw Hill Inc. 1990
- ✓ Βιβλίο «**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ**» του Απόστολου Κ. Γούλα, Καθηγητή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
  - \*Κεφαλαίο 2.2 : «**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ**».
  - \*Κεφαλαίο 7.1 : «**ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ**».