

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ Ι

Α) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ - ΠΑΡΑΓΩΓΗ
Β) ΘΥΡΕΣ ΥΔΡΟΔΗΨΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του φοιτητή του τμήματος Μηχανολογίας
Ζέρβα Κωνσταντίνου



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ
Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ
υπό την επιμέλεια του
Καθηγητή Εφαρμογών Απατάγγελου Ανδρέα

Πάτρα 2006

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κ. Απατάγγελο Ανδρέα για την πολύτιμη βοήθεια και τον χρόνο που αφιέρωσε για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Ευχαριστώ το προσωπικό του ΥΠΕ Πουρναρίου Ι, για το ενδιαφέρον που δείξαν για να μάθω όσα περισσότερα μπορούσα κατά την διάρκεια της εξάμηνης πρακτικής μου.

Ευχαριστώ τους γονείς μου για όλα όσα έχουν κάνει μέχρι σήμερα και ιδιαίτερα κατά τα φοιτητικά μου χρόνια.

Την πτυχιακή μου εργασία την αφιερώνω στην Ρούλα μου που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια...

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Περιγραφή υδροηλεκτρικού έργου Πουρναρίου Ι.....	1
2. Πραγματική λειτουργία σταθμού.....	4
3. Μηνιαίο δελτίο λειτουργίας ΥΗΣ Πουρναρίου.....	5
4. Παραγωγή ενέργειας (MWH).....	7
5. Γενικά Francis-Pelton-Karlan.....	10
1.5.1 Στροβίλους Pelton.....	10
1.5.2 Στροβίλου Francis.....	11
1.5.3 Στροβίλους Karlan.....	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

1.1. Ιστορική αναδρομή υδροστροβίλου.....	15
2. Γενικά υδροστρόβιλος.....	15
2.2.1 Ορισμός στροβιλομηχανών.....	17
2.2.2 Θεμελιώδης εξίσωση των στροβιλομηχανών. Εξίσωση ενέργεια μεταφοράς για τους στροβίλους.....	17
2.2.3 Απόδοση των υδροστροβίλων.....	19
2.3. Κατάταξη υδροδυναμικών μηχανών.....	20
2.3.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως.....	20
2.3.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως.....	20
2.4. Χαρακτηριστικά μεγέθη.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

3.1. Αρχή αξιοποίησης.....	22
3.2. Τεχνικά έργα για την κατασκευή και λειτουργία υδροηλεκτρικού σταθμού.....	27
3.2.1 Τεχνικά έργα συγκέντρωσης.....	27

3.2.2	Τεχνικά έργα προσαγωγής.....	28
3	Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.....	28
4	Ιστορικό των υδροηλεκτρικών μονάδων στην Ελλάδα.....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΜΕΡΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΟΥ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ Ι

1	Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	30
4.1.1	Τεχνητή λίμνη.....	30
4.1.2	Σήραγγα εκτροπής.....	30
4.1.3	Φράγμα.....	30
2	Συγκρότημα εκχειλιστεί	30
4.2.1	Έργο εισόδου.....	31
4.2.2	Διώρυγα απαγωγής	31
4.2.3	Λεκάνη αποτόνωσης.....	31
3	Συγκρότημα παραγωγής ενέργειας	31
4.3.1	Σύστημα προσαγωγής	31
4.3.2	Σήραγγες προσαγωγής	31
4.3.3	Σταθμοί παραγωγής.....	31
4.3.4	Λειτουργία μονάδων	32
4.3.5	Εκχειλιστείς με τρία ακτινικά θυροφράγματα.....	32
4.3.6	Εκκενωτής πυθμένα.....	33
4.3.7	Υποσταθμός ζεύξεως 150 KV.....	34
4	Γεννήτρια.....	34
4.4.1	Σχεδίαση και λειτουργία της γεννήτριας	34
4.4.2	Κύρια τμήματα γεννήτριας.....	35
5	Υδροστρόβιλος –Γενικά.....	38
4.5.1	Σχεδιασμός του υδροστρόβιλου.....	38
4.5.2	Σταθερό τμήμα υδροστροβίλου.....	38
4.5.3	Στρεφόμενο τμήμα υδροστροβίλου.....	38
4.5.4	Κύρια βοηθητικά εξαρτήματα υδροστρόβιλου.....	41
6	Περιγραφή ρυθμιστή στροφών και πίνακα ACTUATOR	41
4.6.1	Λειτουργία ρυθμιστή στροφών	43
4.6.2	Βασικά εξαρτήματα και λειτουργία του πίνακα ACTUATOR.....	43
7	Συστήματα αντλιών-αεροκώδωνα ρυθμιστή στροφών.....	48
4.7.1	Αρχή λειτουργίας.....	48
8	Σύστημα συμπιεσμένου αέρα για το ρυθμιστή στροφών και την λειτουργία της μονάδας σαν κινητήρας.....	49

9	Σύστημα ψύξης	49
10	Μαγνητοηλεκτρική γεννήτρια.....	50
11	Αρχή λειτουργίας μονάδος.....	50
4.11.1	Αυτόματο ξεκίνημα μονάδος	50
4.11.2	Αυτόματο σταμάτημα μονάδος.....	52
4.11.3	Σφάλματα – πτώσης μονάδος	53
4.11.4	Συγχρονισμός μονάδος – δίκτυο	54
12	Πλεονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων	54
13	Μειονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων.....	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΔΡΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ

1	Υδροστρόβιλοι δράσεως (Pelton).....	55
5.1.1	Χαρακτηριστικά υδροστροβίλων δράσεως.....	55
2	Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως (Francis-Karlan-American).....	58
3	Γενικά χαρακτηριστικά των υδροστροβίλων Pelton και Francis.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

5.1	Βαθμός απόδοσης.....	60
6.1.1	Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης	60
6.1.2	Μηχανικός βαθμός απόδοσης	61
6.1.3	Υδραυλικός βαθμός απόδοσης	62
5.2	Χαρακτηριστικές καμπύλες στροβίλου.....	64
5.3	Ειδικός αριθμός στροφών.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ

7.1	Περιγραφή του φαινομένου –στάθμη τοποθέτησης του υδροστρόβιλου.....	67
7.2	Διάφορες μορφές σπηλαιώσης.....	70
7.3	Φθορές από την σπηλαιώση και προστασία	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

0.1	Εισαγωγή.....	74
0.2	Κύριες διαστάσεις υδροστροβίλου Francis.....	74
8.2.1	Καθορισμός βασικών λειτουργικών παραμέτρων.....	74
8.2.2	Καθορισμός των κύριων διαστάσεων της πτερωτής.....	76
8.2.3	Καθορισμός των κύριων διαστάσεων του σπειροειδούς κελύφους.....	76
0.3	Κύριες διαστάσεις υδροστροβίλου Pelton.....	77
8.3.1	Καθορισμός κύριων λειτουργικών παραμέτρων.....	77
0.4	Πλεονεκτήματα υδροστροβίλου Pelton.....	81
0.5	Πλεονεκτήματα υδροστροβίλου Francis.....	81

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ ΘΥΡΕΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

0.1	Θύρες υδροληψίας.....	83
9.1.1	Έλεγχος θύρας και εξαρτήματα λειτουργίας.....	83
9.1.2	Λειτουργία θύρας υδροληψίας.....	83
9.1.3	Αυτόματο σύστημα διατηρήσεως της πόρτας σε θέση ανοιχτή.....	87
9.1.4	Χειροκίνητος έλεγχος.....	87
9.1.5	Κάθοδος με πίεση.....	87
9.1.6	Λειτουργία συσκευής περιορισμού 14.....	87
9.1.7	Μηχανισμός προστασίας.....	88
0.2	Υδραυλικοί υπολογισμοί.....	88
9.2.1	Δυνάμεις.....	88
9.2.2	Γεωμετρίας.....	88
9.2.3	Ταχύτητες.....	88
9.2.4	Υπολογισμοί κυλίνδρου.....	88
9.2.5	Υπολογισμός αντλίας.....	89
9.2.6	Υπολογισμός απωλειών πίεσης.....	89
9.2.7	Υπολογισμός δυνάμεων.....	91
9.2.8	Σύνολο ασφαλιστικών της μονάδας.....	91

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Πειραματικές μετρήσεις για την μονάδα Francis.....	93
Φωτογραφίες από αρχείο Πουρναρίου Ι.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΡΟΣ Α

Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή υδροηλεκτρικού έργου Πουρναριού Ι.

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Πουρναριού 1 βρίσκεται στο Β.Δ τμήμα της Άρτας και σε απόσταση 4.5 km. Εκμεταλλεύεται τα νερά του ποταμού Αράχθου που έχει τις πηγές του στην Β.Δ. Ελλάδα (Ηπειρος).

Αρχικά το 1973 ξεκίνησε η κατασκευή της σήραγγας εκτροπής που θα βοηθούσε να αλλάξει πορεία το ποτάμι.

Πριν αρχίσει η κατασκευή του φράγματος το 1976 άρχισε η κατασκευή του εκχειλιστή ενώ λίγο αργότερα ξεκίνησε να κατασκευάζεται το φράγμα.

Της 10/1/1980 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του φράγματος και παράλληλα έκλεισε η σήραγγα εκτροπής.

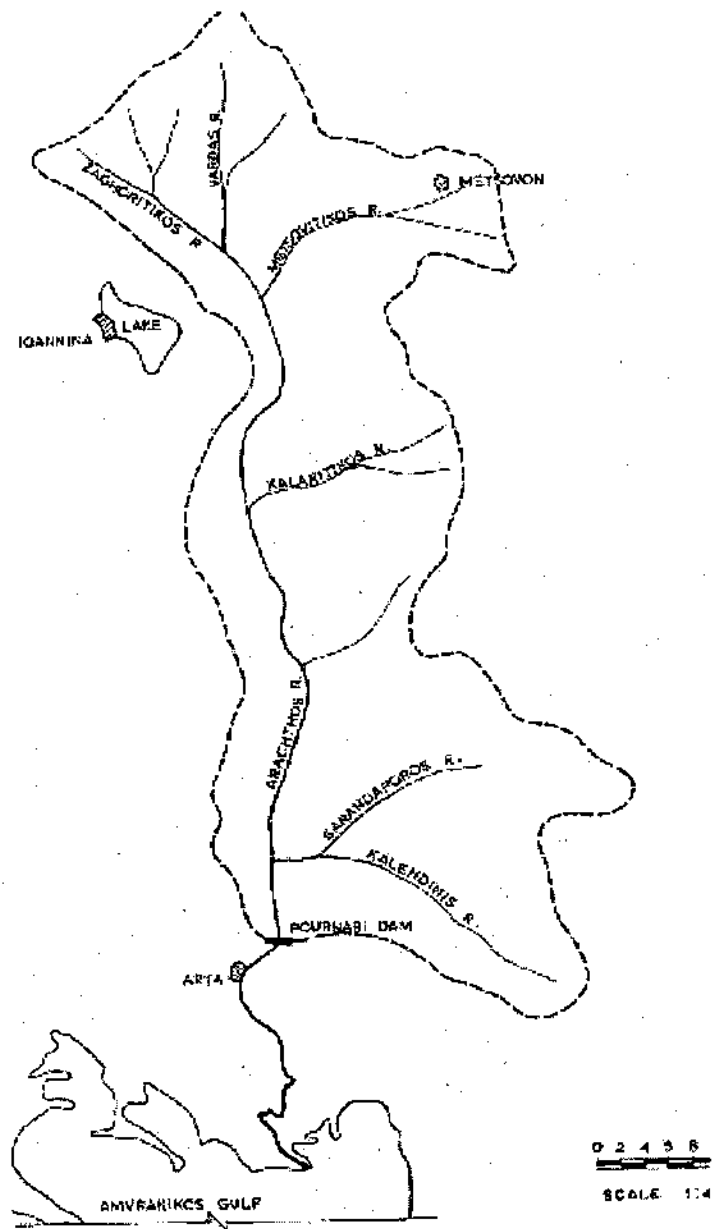
Το φράγμα αποτελείται από επτά ζώνες. Το κεντρικό αδιαπέραστο πυρήνα που είναι από οργιλικό υλικό, τις ζώνες φίλτρων, τα ανάντη και κατόντη σώματα αντιστηρίξεως από αλλουβιακό υλικό του ποταμού, την επιφανειακή ζώνη προστασίας του ανάντη πρανούς από λιθορρίπη και την επιφανειακή ζώνη προστασίας του κατόντη πρανούς.

Η πρώτη μονάδα Νο 1 τέθηκε σε εμπορική λειτουργία στις 13/3/1981 ενώ η μονάδα Νο 2 τέθηκε σε λειτουργία στις 01/06/1981 και η Νο 3 στις 30/07/1981.

Ο σταθμός είναι αιχμής όπως και όλα τα υδροηλεκτρικά.

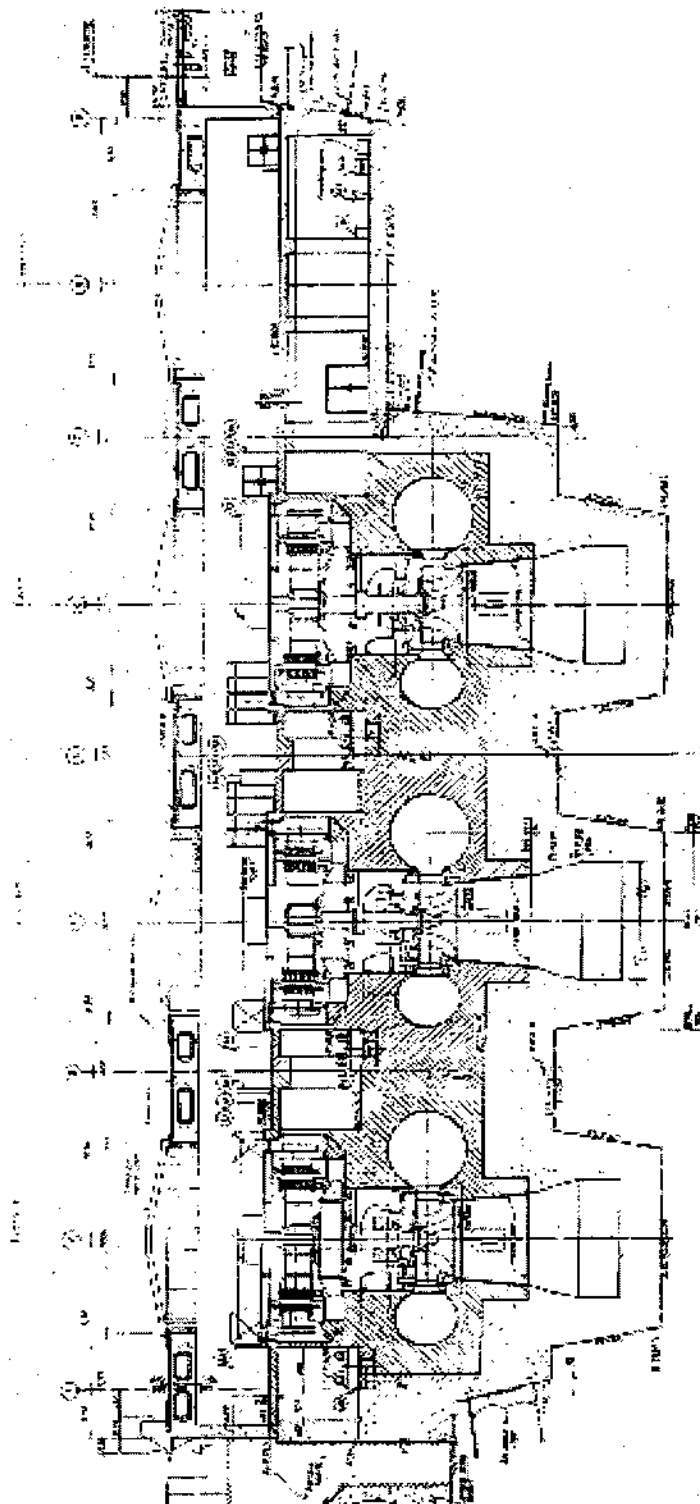
Η μέση ετήσια παραγωγή του στα χρόνια λειτουργίας του είναι 238,000 MWH (MIN 200GWH/MAX 500GWH).

Ολόκληρο το έργο κόστισε 14.000.000.000.



ARACHTHOS RIVER DRAINAGE AREA

Σχήμα 1.1α Γεωγραφικό μήκος ποταμού



Σχημα 1.1β Τομή σταθμού

1.2 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΔΕΛΤΙΟ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ		10 / 2004
1. ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ		21.865 MWH
2. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο1		9.300 MWH
3. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο2		9.100MWH
4. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο3		3.585 MWH
5. ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο4		MWH
6. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ		MWH
7. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΟ :		120 MWH
8. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΒΟΗΘ. ΜΟΝ.ΕΚΤΟΣ ΛΕΓΓ.ΑΠΟ ΔΙΚΤ		MWH
9. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ		44 MWH
10. ΣΤΑΘΜΗ ΛΙΜΝΗΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΜΗΝΑ		112,55 m
11. ΕΙΣΡΟΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ		67.770.150 m ³
12. ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ :		m ³
13. ΕΚΡΡΟΗ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		127.820.150 m ³
14. ΔΙΑΘΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ		m ³
15. ΔΙΑΘΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΕΙΣ		m ³
16. ΑΠΟΘΕΜΑ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΜΗΝΑ		16.800.000 m ³
17. ΑΠΟΘΕΜΑ ΝΕΡΟΥ ΣΕ		26,05 GW
18. ΜΕΣΗ ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ		5,81 m ³ /KWH
19. ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ		215 KW
20. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΠΙ ΚΑΘ.ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ		13,67 %
21. ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
	ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.ΜΟΝ. Νο1	135:05:00 h
	ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.ΜΟΝ. Νο2	134:30:00 h
	ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.ΜΟΝ. Νο3	53:40:00 h
	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΟΝ. Νο1	7:35:00 h
	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΟΝ. Νο2	15:00:00 h
	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΟΝ. Νο3	h
22. ΝΕΡΟ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ		M ³
23. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΧΑΘΗΚΕ ΛΟΓΩ ΑΡΔΕΥΣΕΩΝ		MWH
24. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΧΑΘΗΚΕ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗΣ		MWH

ΜΗΝΙΑΙΟ ΔΕΛΤΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΗΣ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΙΣΕΡΕΥΣΕ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ	67.770.150	κ.μ.
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΡΟΗ ΜΟΝΑΔΩΝ	127.820.150	κ.μ.
1.1 ΕΚΡΟΗ ΠΑ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ (ΜΕ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ)	~	κ.μ.
1.2 ΕΚΡΟΗ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ (ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ)	~	κ.μ.
1.3 ΕΚΡΟΗ ΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΛΟΓΟΥΣ (ΜΕ ΠΑΡΑΓΩΓΗ)	~	κ.μ.
1.4 ΕΚΡΟΗ ΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΛΟΓΟΥΣ (ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ)	~	κ.μ.
ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΖΕ	~	κ.μ.
ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΜΗΝΑ	112,55	m
ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΜΗΝΑ	16.800.000	κ.μ.
ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ ΛΙΜΝΗΣ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΜΗΝΑ	~	%
ΜΕΣΗ ΕΙΣΡΟΗ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ	2.186.134	κ.μ./sec

ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

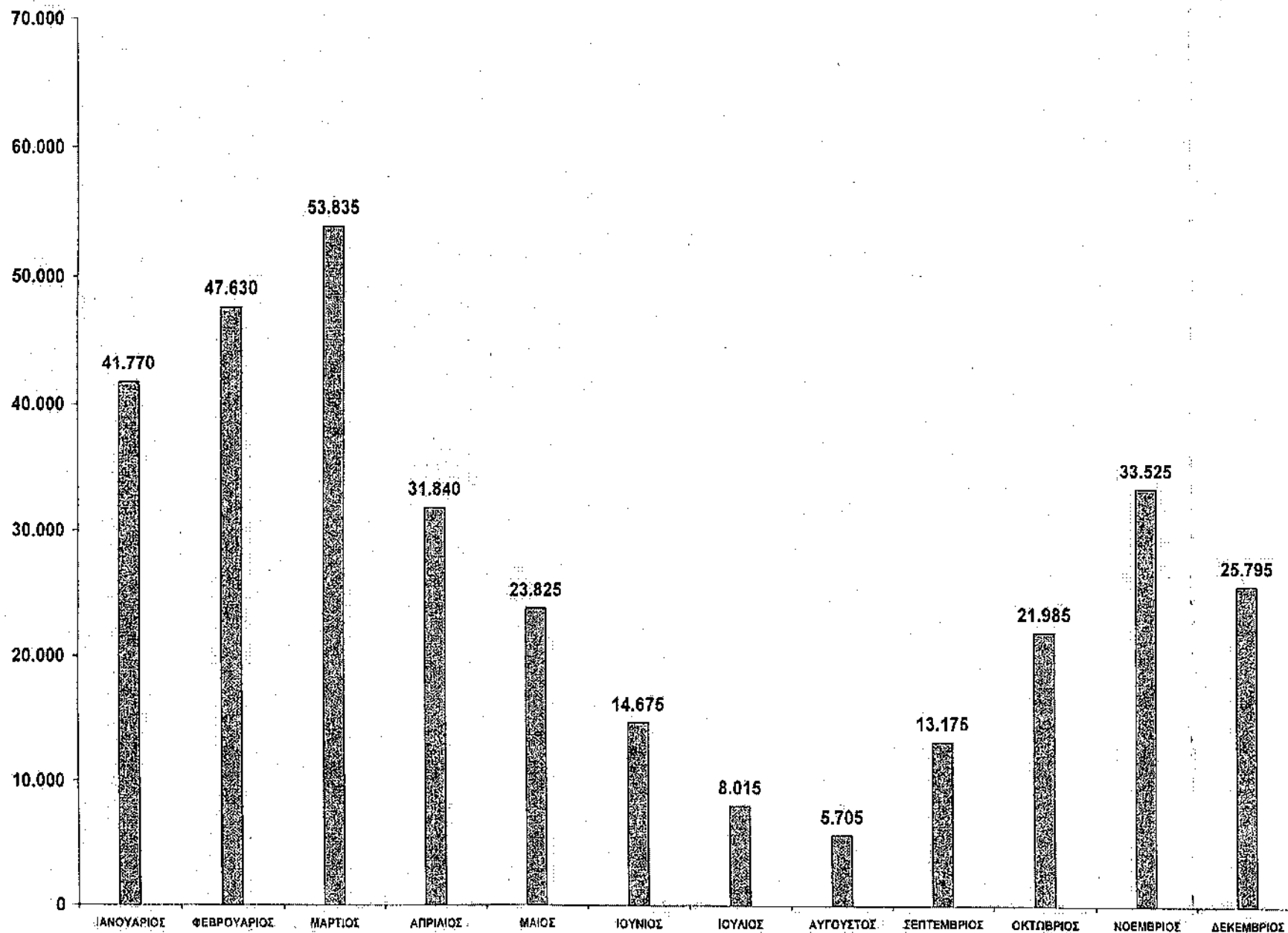
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 1 (ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ)	9.300	kwh
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 2 (ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ)	9.100	kwh
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 3 (ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ)	3.585	kwh
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 4 (ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ)	~	kwh
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ	21.985	kwh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ	~	kwh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΟ	120	kwh
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ	44	kwh
ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΜΟΥ	21.865	kwh

ΧΡΟΝΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 1	142.40	h
1.1 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 135.05	ΠΥΚΝΩΤΗΣ 07.35	h
ΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 2	149.30	
1.1 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 134.30	ΠΥΚΝΩΤΗΣ 15.00	h
ΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 3	53.40	
1.1 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 53.40	ΠΥΚΝΩΤΗΣ	h
ΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ Νο 4		
1.1 ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	ΠΥΚΝΩΤΗΣ	h
5 ΜΟΝΑΔΑ Νο 1 ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΛΕΙΤ. ΛΟΓΩ	A) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ:	h
	B) ΒΛΑΒΗΣ:	h
	Γ) ΤΡΙΤΩΝ:	10.00 h
5 ΜΟΝΑΔΑ Νο 2 ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΛΕΙΤ. ΛΟΓΩ	A) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ:	h
	B) ΒΛΑΒΗΣ:	h
	Γ) ΤΡΙΤΩΝ:	11.25 h
5 ΜΟΝΑΔΑ Νο 3 ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΛΕΙΤ. ΛΟΓΩ	A) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ:	277.40 h
	B) ΒΛΑΒΗΣ:	h
	Γ) ΤΡΙΤΩΝ:	17.00 h
5 ΜΟΝΑΔΑ Νο 4 ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΛΕΙΤ. ΛΟΓΩ	A) ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ:	h
	B) ΒΛΑΒΗΣ:	h
	Γ) ΤΡΙΤΩΝ:	h

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

1 ΜΕΣΗ ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	5,814	κ.μ./kwh
2 ΜΕΣΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	85,85	%
3 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΥ	3	min

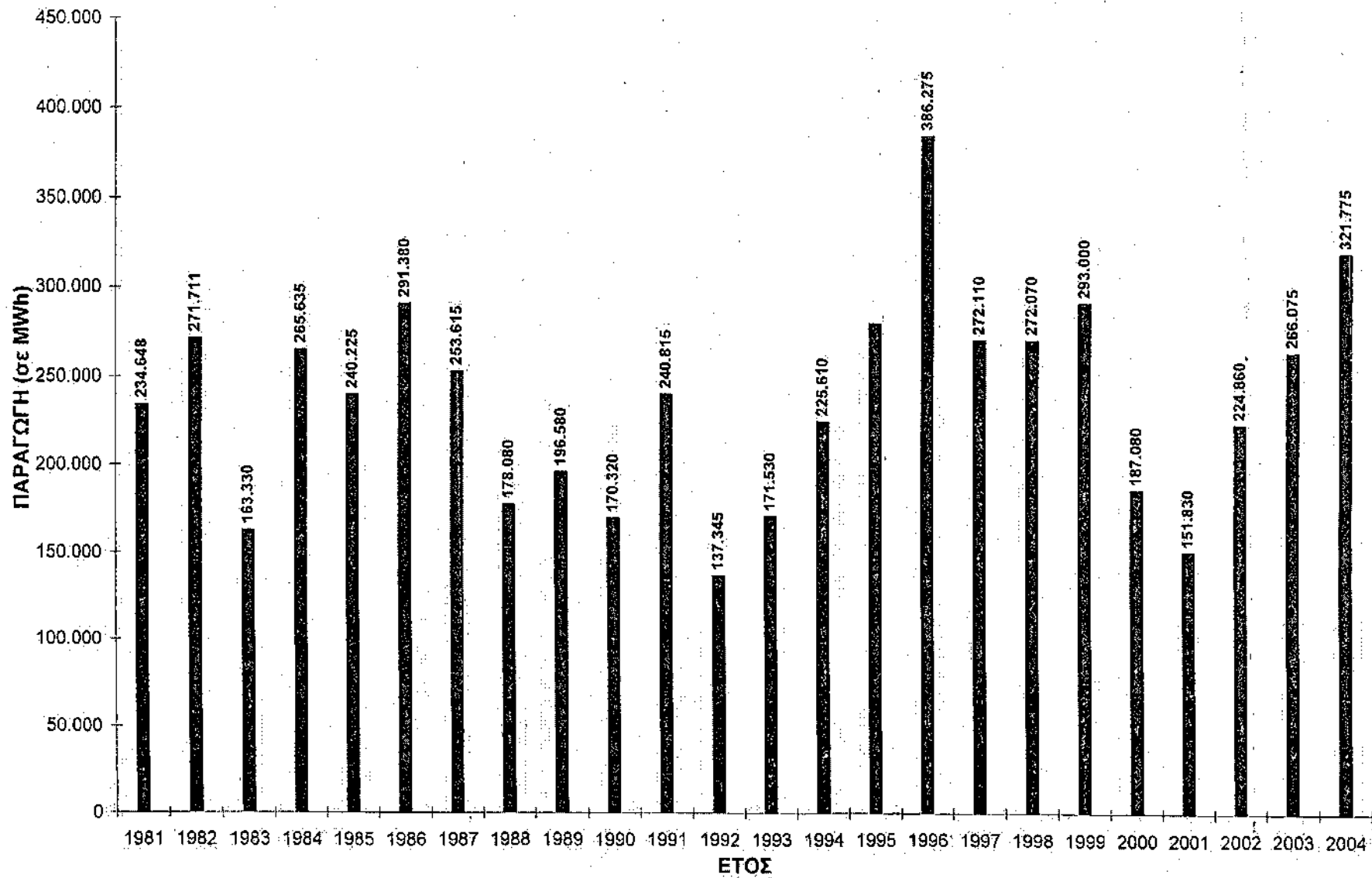


1.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΜWΗ)

ΥΠΕ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ Ι ΕΤΟΥΣ 2004										
ΜΗΝΕΣ	ΜΟΝΑΔ. No 1	ΜΟΝΑΔ. No 2	ΜΟΝΑΔ. No 3	ΣΤΑΘΜΟΣ						ΜΕΣΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ
	ΠΑΡΑΓΩ ΓΗ ΜWΗ	ΠΑΡΑΓΩ ΓΗ ΜWΗ	ΠΑΡΑ ΓΩΓΗ ΜWΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΕΣΩΤ. ΥΠΗΡΕΣ.		ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓ Η	ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓ Η	ΕΝΕΡΓ ΕΙΑ ΓΙΑ S.C.	
					ΔΙΚΤΥΟ	ΜΟΝΑΔ				
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	12.865	14.835	14.070	41.770	200		41.570	315	98	87,04
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	18.290	14.115	15.225	47.630	150		47.480	315	52	86,55
ΜΑΡΤΙΟΣ	12.595	21.790	19.450	53.835	160		53.675	315	42	85,89
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	8.995	10.875	11.970	31.840	130		31.710	310	18	85,47
ΜΑΙΟΣ	10.190	4.315	9.320	23.825	100		23.725	285	158	85,88
ΙΟΥΝΙΟΣ	4.310	7.440	2.925	14.675	60		14.615	190	144	85,06
ΙΟΥΛΙΟΣ	1.440	3.135	3.440	8.015	100		7.915	200	793	85,01
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1.825	2.910	970	5,705	110		5.595	100	374	85,15
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	5.350	4.210	3.615	13.175	120		13.055	255	93	85,09
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	9.300	9.100	3.585	21.985	120		21.865	215	44	85,85
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	11.165	10.660	11.700	33.525	145		33.380	300	106	86,58
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	11.340	5.185	9.270	25.795	175		25.620	315	101	88,76
ΕΤΗΣΙΑ	107.665	108.570	105.540	321.775	1.570		320.205	315	2.023	86,027

ΥΗΣ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ Ι ΕΤΟΥΣ 2004

ΜΗΝΕΣ	ΣΤΑΘΜ Η ΛΙΜΝΗΣ Σ ΣΕ m	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕ ΝΟ ΛΙΜΝΗΣ ΣΕ m ³ ΠΑΝΩ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ	ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙ ΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ m ³	ΝΕΡΟ ΠΟΥ ΕΙΣΕΡΕΥ ΣΕ ΣΕ m ³	ΜΕΤΩΡΟΛΟΓΙ ΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
					ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ m/sec	ΒΡΟΧΟ ΠΤΩΣΗ mm
ΝΟΥΑΡΙΟΣ	116,81	240.350.000	241.101.800	307.171.800	114,68	
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	114,91	206.480.000	275.918.550	242.048.550	96,60	
ΜΑΡΤΙΟΣ	115,04	208.700.000	312.811.750	315.031.750	117,62	
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	115,93	224.130.000	184.086.450	199.516.450	76,97	
ΜΑΙΟΣ	118,99	282.880.000	131.018.650	189.768.650	70,85	
ΙΟΥΝΙΟΣ	118,78	278.780.000	80.730.800	76.630.800	29,56	
ΙΟΥΛΙΟΣ	118,67	276.640.000	44.176.950	42.036.950	15,69	
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	118,34	270.200.000	31.476.600	25.036.600	9,35	
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	116,15	228.050.000	73.753.200	31.603.200	12,19	
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	112,55	168.000.000	127.820.150	67.770.150	25,30	
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	109,28	119.490.000	200.967.050	152.457.050	58,82	
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	113,86	188.900.000	151.850.550	221.260.550	82,61	
ΕΤΗΣΙΑ			1.855.712.500	1.870.332.500	59,19	



Γενικά Francis-Pelton-Kaplan

θεμελιώδης εξίσωση της στροβιλομηχανής προβλέπει δυο μεγάλες κατηγορίες στροβιλομηχανών.

Τις μηχανές απορρόφησης μηχανικής ενέργειας, τους Συμπιεστές

τις μηχανές παραγωγής μηχανικής ενέργειας, τους Στροβίλους.

διακρίνονται σύμφωνα με την καθοδήγηση του ρευστού σε :

Κεντρικής ροής, όπου το ρευστό οδηγείται με κατεύθυνση κάθετη προς τον άξονα του κινητήρα.

Πλευρικής ροής, εκεί το ρευστό οδηγείται στο ρώτορα κατά τέτοιο τρόπο ώστε η κυκλοφορία του να γίνεται με κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του κινητήρα.

Κυκλικής ροής, εδώ το ρευστό κυκλοφορεί προς τον άξονά του και κατά ένα μέρος κάθετα προς αυτόν.

Απόψεως δυναμικής ενέργειας διακρίνουμε τις μηχανές **δράσεως** και τις μηχανές **αντιδράσεως**.

Στις μηχανές δράσεως όλη η διαθέσιμη ενέργεια του ρευστού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια περνώντας από ένα ακροφύσιο και σχηματίζοντας μια ελεύθερη φλέβα.

Στις μηχανές αντιδράσεως μέρος της διαθέσιμης ενέργειας του ρευστού μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο παραμένει μέσα στην μηχανή υπό μορφή πίεσης.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των στροβιλομηχανών, είναι ότι στην μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του ρευστού σε μηχανική ενέργεια ή το αντίστροφο, μεγάλο και σημαντικό μέρος παίζει η ενέργεια του ρευστού υπό μορφή κινητικής ενέργειας. Έτσι οι στροβιλομηχανές ασυμπίεστου ρευστού χαρακτηρίζονται εύστοχα και “**Υδροδυναμικές μηχανές**”.

Οι στροβίλοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

Προστρόβιλοι, όταν το ρευστό που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή ενέργειας είναι το νερό.

Ατμοστρόβιλοι, όταν το χρησιμοποιούμενο ρευστό είναι ο ατμός.

Αεριοστρόβιλοι, όταν το χρησιμοποιούμενο ρευστό είναι τα καυσαέρια.

Ανάλογα με την υψομετρική διαφορά H και την παροχή του νερού στον ηλεκτρικό σταθμό χρησιμοποιούνται διαφορετικοί στρόβιλοι. Με λίγες εξαιρέσεις χωρίζονται οι στρόβιλοι στις εξής κατηγορίες:

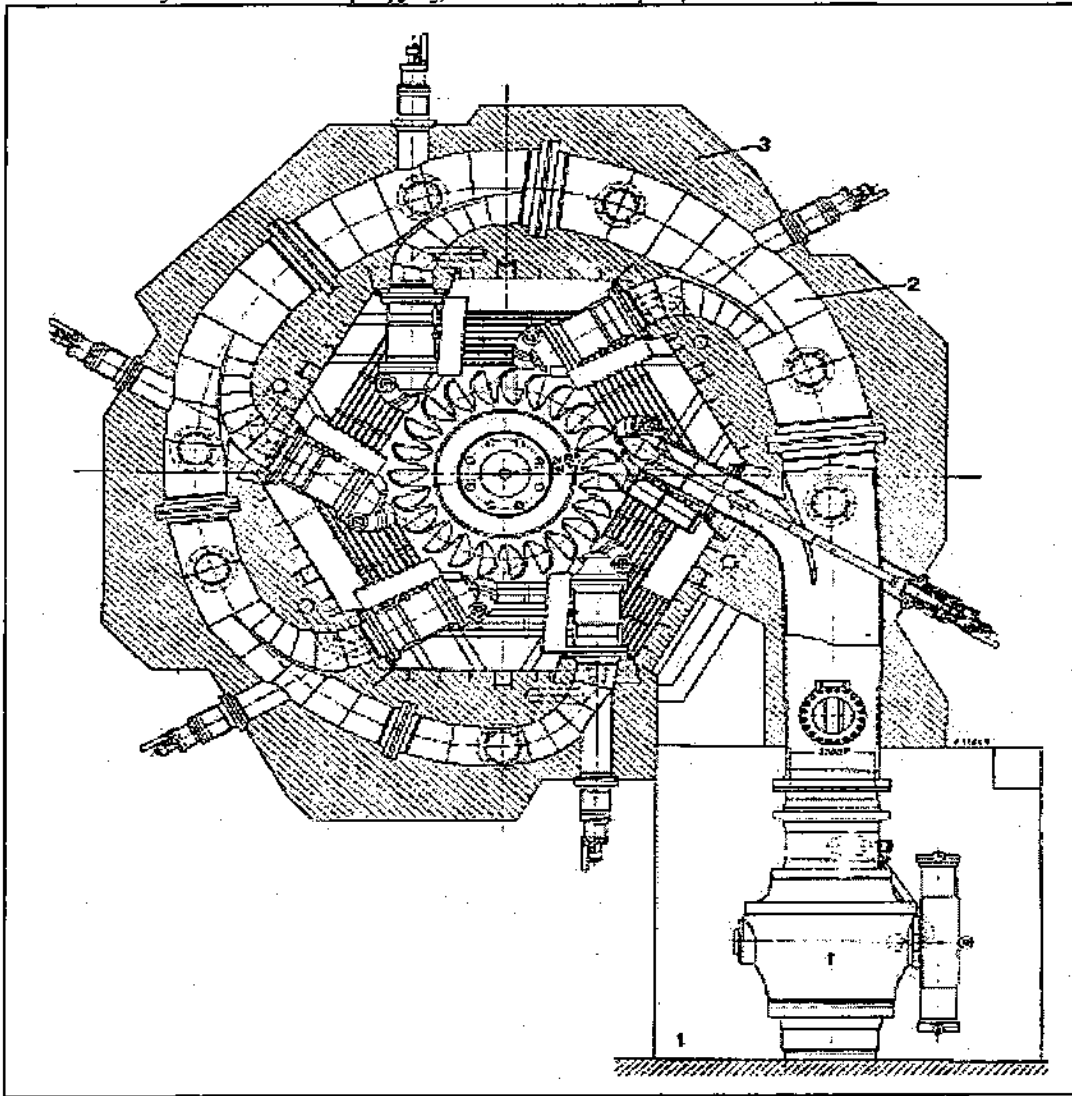
Ελεύθερης δέσμης ή Pelton για $H > 100m$

Francis για $H=30....800m$

Kaplan για $H=2....80m$

1.1 Στους στροβίλους Pelton, το νερό προσάγεται σε πολλά ακροφύσια διατεταγμένα κυκλικά γύρω από τον τροχό Pelton. Εκεί το νερό εκρέει και η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Η δέσμη του νερού που εκρέει από κάθε ακροφύσιο έρχεται σε επαφή με τα πτερύγια του τροχού Pelton που φέρει τα πτερύγια. Η ρύθμιση ισχύος γίνεται με κωνοειδείς βαλβίδες. Υπάρχουν, όμως, εμπρός από τα ακροφύσια και ανακλαστές της δέσμης του νερού που μπορούν να τεθούν σε μικρό χρόνο μπρος στην δέσμη νερού και να την αποκλίνουν από το να πέσει πάνω στα πτερύγια. Έτσι μπορεί η ισχύς να μηδενισθεί σε οποιοδήποτε σημείο του κύκλου λειτουργίας. Στους στροβίλους Pelton η υδροστατική πίεση

α πτερύγια είναι παντού η ίδια. Σε κάθε στιγμή μόνο ορισμένα πτερύγια έχουν επαφή με νερό και έτσι όπως κινείται ο τροχός, αυτά τα πτερύγια εναλλάσσονται.

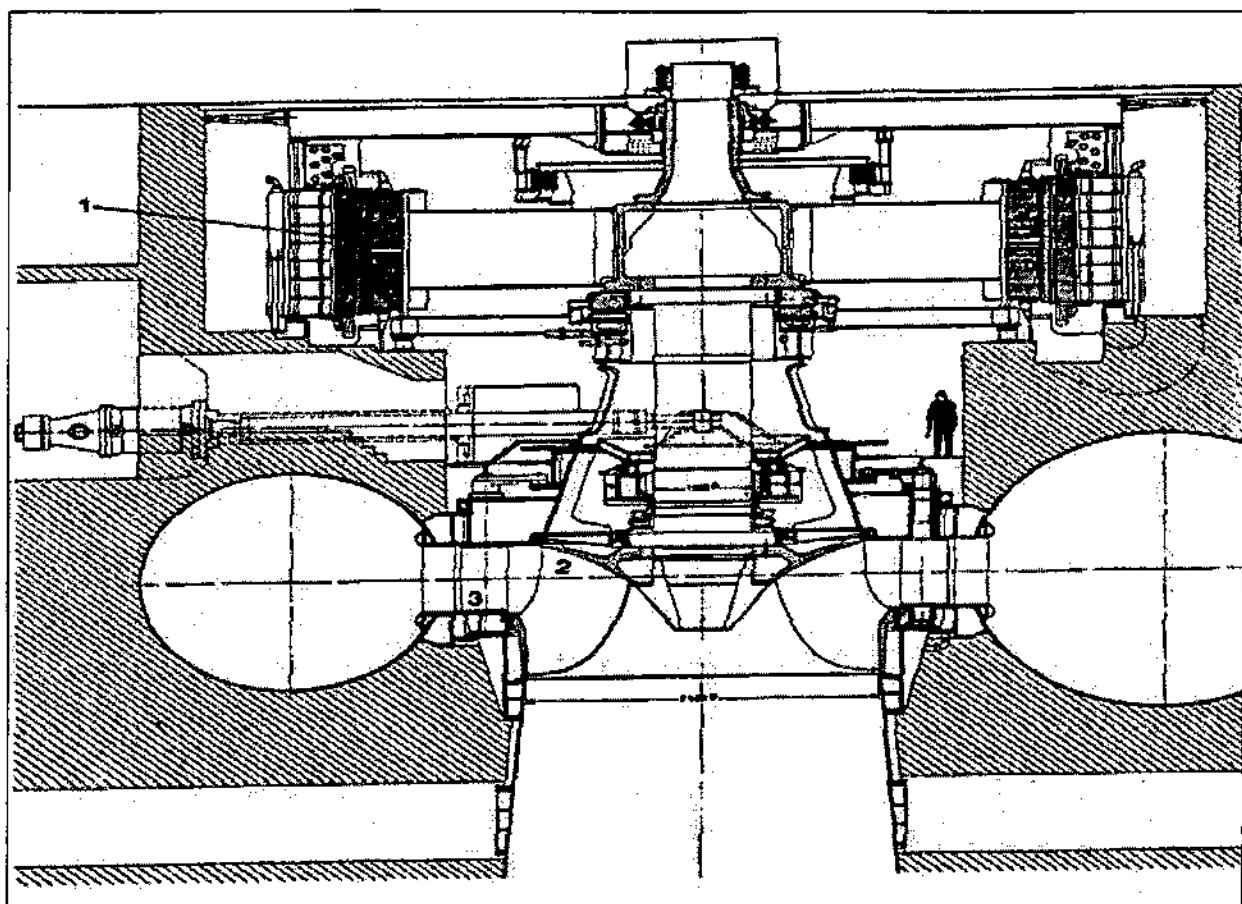


1.2.1 Εγκατεστημένος στρόβιλος Pelton

- Αποφρακτικό όργανο
- Σωλήνας σπειροειδής με 6 ακροφύσια
- Οπλισμένο σκυρόδεμα

2 Στους στρόβιλους Francis το νερό, αφού περάσει από ρυθμιστικές διατάξεις, ρυθμίζεται σε ένα δακτυλειώδη σωλήνα.

Εκεί εκρέει από σχισμές στην εσωτερική επιφάνειά του και πέφτει στα πτερύγια του οριζοντιοστρόβιλου. Στις σχισμές εκροής υπάρχουν πτερύγια ρύθμισης. Αλλάζοντας την θέση τους το νερό εκρέει με αλλαγμένη κατεύθυνση. Έτσι, ρυθμίζεται η ισχύς. Όλος ο στρόβιλος βυθίζεται στο νερό και η υδροστατική πίεση είναι μεγαλύτερη στην είσοδο απ' ό,τι στην έξοδο.



1.2.2 Εγκατεστημένος στρόβιλος Francis με γεννήτρια

Γεννήτρια

Στρόβιλος

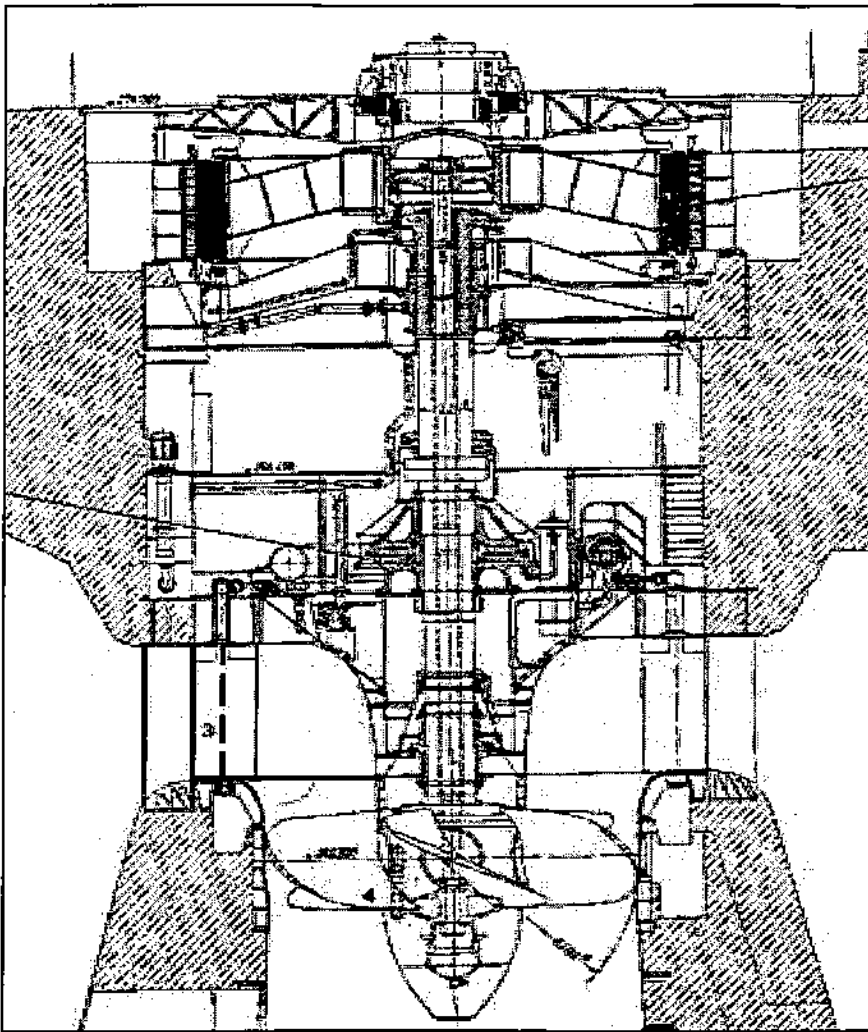
Ακτινικά περύγια ρυθμιζόμενα

1.3 Οι στρόβιλοι **Karlan**, έχουν ανάλογη αρχή λειτουργίας, όπως οι Francis, πλην των ακτινικών περυγίων τα οποία είναι και αυτά ρυθμιζόμενα, όπως τα σταθερά περύγια.

Στους στρόβιλους Karlan και Francis υπάρχει διαφορά πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου της μηχανής σε αντιδιαστολή με τους στρόβιλους Pelton, όπου η πίεση είναι ενιαία. Γι' αυτό οι δύο προαναφερθέντες τύποι ονομάζονται στρόβιλοι υπερπίεσης.

Στους υδροστρόβιλους, κυρίως σε περιοχές μεγάλης ταχύτητας του νερού, δημιουργούνται υπερπίεσεις με αποτέλεσμα να εξατμίζεται εκεί το νερό.

Επομένως, οι ατμοί συμπυκνώνονται πάνω στις επιφάνειες των περυγίων με αποτέλεσμα να συμβαίνει διάβρωση των περυγίων. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται *σπηλαιώση* και μπορεί να αποφευχθεί κυρίως τα κινούμενα περύγια. Αποφεύγεται μόνο με κατάλληλο σχεδιασμό του στρόβιλου.



Σχ. 1.2.3 Εγκατεστημένος στρόβιλος Kaplan

1. Γεννήτρια
2. Ωστικό έδρανο
3. Ρυθμιζόμενα ακίνητα πτερύγια
4. Στρόβιλος

Ο στρόβιλος υπερπίεσης χρησιμοποιεί κανείς συνήθως στην έξοδο του νερού ένα σωλήνα που οδηγεί μέχρι την στάθμη φυγής. Στην άκρη αυτού του σωλήνα αναρρόφησης λειτουργεί, λόγω της ροής του νερού στην στάθμη φυγής, μια υποπίεση. Έτσι, γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της υψομετρικής διαφοράς.

Στους στρόβιλους Kaplan και Francis το νερό προσάγεται κάθετα στον άξονα του στρόβιλου. Ο σωλήνας αναρρόφησης δεν είναι παράλληλος με τον άξονα του στρόβιλου. Σε ορισμένους τύπους στρόβιλων, λέγονται σωληνωτοί στρόβιλοι, το νερό ρέει αξονικά. Ο στρόβιλος βρίσκεται στον ευθύ σωλήνα αναρρόφησης. Έτσι, επιτυγχάνεται μια καλύτερη πρόσδεση του στρόβιλου. Η λύση είναι όμως κατασκευαστικά δύσκολη. Η γεννήτρια πρέπει συνήθως να κινηθεί μέσω γραναζιών γιατί απαιτείται μικρός όγκος γεννήτριας, δηλαδή μεγάλες στροφές, πράγμα που δεν συμβιβάζεται με τις χαμηλές στροφές του στρόβιλου.

Για την εκμεταλλεύσιμη διαφορά στάθμης νερού, δηλ. ενεργό ύψος H σε συνάρτηση με την ροχή και την ταχύτητα n (στρ/min), χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του είδους του στρόβιλου. Υπολογίζεται ένα μέγεθος n_q , η ειδική ταχύτητα και από αυτήν εκλέγεται ο στρόβιλος:

αριθμητικός τύπος του n_q είναι:

$$n_q = n \left(\frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \right) \text{min}^{-1} \quad (1.1)$$

n ταχύτητα περιστροφής, min^{-1} ,

Q παροχή (m^3/s) στην ονομαστική λειτουργία.

H υψομετρική διαφορά (m) στην ονομαστική λειτουργία.

Παρατίθενται δύο άλλοι τύποι υδροστροβίλων οι οποίοι δεν χρησιμοποιούνται ευρέως
αι: Τύπου **Deriaz** και **Bulb**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Ιστορική αναδρομή υδροστροβίλων

Ο στροβιλοκινητήρας ή πιο σύντομα στρόβιλος είναι μια περιστροφική μηχανή, η οποία μετατρέπει ένα μέρος από την ενέργεια ενός κινούμενου ρευστού (ροϊκή ενέργεια) σε μηχανική ενέργεια.

Η μηχανική ενέργεια στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ωφέλιμου έργου, όπως είναι η παραγωγή ισχύος.

Ο αεριοστρόβιλος αποτελεί μια ολοκληρωμένη μηχανή που περιλαμβάνει συμπιεστή, καύση και στροβιλοκινητήρα. Επάνω σ' αυτόν θα παρουσιαστούν οι αρχές λειτουργίας των υδροστροβίλων και των ατμοστροβίλων. Ο όρος turbine (τουρμπάιν) προέρχεται από την λατινική λέξη turbo (τούρμπο = στρόβιλος) και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον C. Burdin (Μπούρντεν, 1790 -1873).

Η εφαρμογή του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής σ' ένα στροβιλοκινητήρα, με τις υπόθεσεις, ότι η ροή του ρευστού είναι μόνιμη, η μετάδοση θερμότητας δια μέσου του τοιχώματος αμελητέα και η υψομετρική διαφορά των στομιών εισόδου και εξόδου είναι μεγάλη, δίδει την αρχή, ότι η παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα παροχής μάζας ισούται με την μεταβολή μιας ιδιότητας του ρευστού, που είναι γνωστή σαν ειδική ενθαλπία ανακοπής ή ειδική ολική ενθαλπία.

Αυτή αποτελείται από δύο όρους: Τη στατική ειδική ενθαλπία που είναι θερμοδυναμική ιδιότητα και την «ειδική» κινητική ενέργεια που οφείλεται στην κίνηση. Για τον ατμό η στατική ειδική ενθαλπία είναι συνάρτηση ιδιοτήτων, όπως η πίεση και η θερμοκρασία.

Για το νερό η μεταβολή της ολικής στατικής ενθαλπίας ισούται με την διαφορά των πιέσεων του νερού και στις δύο άκρες της μηχανής διαιρεμένης με την πυκνότητα του νερού. Η απώλωση της ατέλειας της ροής που οφείλεται στο ιξώδες, η παραγόμενη ισχύς είναι μικρότερη από την ισχύ που υπολογίζεται θεωρητικά.

Γενικά υδροστρόβιλος

Στην αρχή της βιομηχανικής επανάστασης αναζητείται μια εναλλακτική λύση έναντι του νερόμυλου ή του υδροτροχού εξαιτίας των περιορισμών της περιστροφικής ταχύτητας και του υψομετρικού ύψους (ύψος πτώσεως), που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί.

Γύρω στο 1740, ανακαλύφθηκε ο μύλος του Barker. Η μηχανή αυτή έγινε αργότερα γνωστή σαν «Σκοτσέζικος μύλος» και αποτελείται από έναν κατακόρυφο σωλήνα, που η μια άκρη του κατέληγε σε δύο βραχίονες, στους οποίους σε κάθε άκρη είχε ανοιχθεί μια τρύπα.

Η μηχανή στηριζόταν σε έδρανα και όταν το νερό εισερχόταν από την κορυφή του σωλήνα και εκτοξευόταν από τις τρύπες, η μηχανή περιστρεφόταν κατά διεύθυνση αντίθετη προς αυτή που εκτοξευόταν οι φλέβες του νερού. Ο υδροστρόβιλος αυτός απαιτούσε μικρό υψομετρικό ύψος.

Ο πρώτος υδροστρόβιλος που συνδύαζε όλα τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων ήταν ο στροβίλος που σχεδιάστηκε από τον Fournet, το 1827. Σ' αυτόν, το νερό κινιόταν ακτινικά προς τα έξω δια μέσου οδηγών (ακινήτων) πτερυγίων με την βοήθεια ενός φράχτη ελέγχου. Η κίνηση των πτερυγίων του συνέκλιναν περιφερειακά έτσι, ώστε ένα μέρος δυναμικής ενέργειας να μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας προς τα έξω

ροβλικής ροής. Ο ρότορας ή το στροφέιο του υδροστροβίλου περιέβαλε τα οδηγία πτερύγια. Τα πτερύγια συνέκλιναν περιφερειακά. Το στροφέιο στηριζόταν σε έδρανα με την βοήθεια ενός κατακόρυφου άξονα και μιας σειράς ακτινών. Το αποτέλεσμα ήταν να μειωθεί η υδρίνηση της ροής του νερού, καθώς αυτό περνούσε μέσα από το στροφέιο, και να ελασκηθεί μια ροπή στο στροφέιο έτσι, ώστε αυτό να μεταδίδει ισχύ στον άξονα. Η μηχανή αυτή αποτέλεσε μεγάλη εξέλιξη αλλά υπέφερε από δυο μειονεκτήματα, την ακατάλληλη στήριξη των στηριγμάτων του στροφείου, τα οποία έπρεπε να μετακινηθούν αξονικά, για να αντισταθμίζουν το σύστημα των οδηγών πτερυγίων και το γεγονός ότι η φυγοκεντρική δύναμη βοήθησε την ροή του νερού.

Το τελευταίο χαρακτηριστικό έθετε σε ένα πρόβλημα ελέγχου, καθώς ο ρότορας έπρεπε να αυξήσει την ταχύτητά του επιτρέποντας μεγαλύτερη ροή δια μέσου της μηχανής, ενώ ο άξονός του οποίου αύξανε ακόμη περισσότερο την ταχύτητα.

Γύρω στο 1850, υδροστροβίλοι ακτινικής ροής προς τα μέσα παρουσιάστηκαν χωριστά από τον J.Thomson στην Βρετανία και τον J.Francis στην Αμερική. Οι υδροστροβίλοι αυτοί ήταν παρόμοιοι με τη μηχανή του Fourneyron, αλλά το στροφέιο τους στηριζόταν από τα οδηγία πτερύγια. Αποδείχθηκαν ευσταθείς και ανθεκτικές μηχανές, με αποτέλεσμα ο υδροστροβίλος του Francis να αποτελεί ακόμη και σήμερα τον πιο δημοφιλή τύπο στροβίλου εξαιτίας του πλήθους των μανομετρικών υψών, στα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Πιο πρόσφατες εξελίξεις περιλάμβαναν την εισαγωγή μιας αξονικής μηχανής με στροφέιο από τον Kaplan, που είχε μεταβλητού βήματος πτερύγια. Επίσης, από τον Paul Deriaz το 1956, μιας μικτής ροής μηχανή, η οποία είχε επίσης πτερύγια μεταβλητού βήματος.

Ο κινητήρας Kaplan είναι κατάλληλος για πολύ μικρά μανομετρικά ύψη, ενώ του Deriaz είναι περισσότερο ανθεκτικός, γιατί παρέχει περισσότερο χώρο στο μηχανισμό ελαστικής βήματος των πτερυγίων.

Σε όλες αυτές τις μηχανές η πίεση του νερού μειώνεται και κατά τη ροή δια μέσου των οδηγών πτερυγίων και δια μέσου των περιστρεφόμενων πτερυγίων. Οι μηχανές αυτές ονομάζονται συνήθως σαν υδροστροβίλοι αντιδράσεως.

Μια άλλη κατηγορία υδροστροβίλων είναι οι υδροστροβίλοι δράσεως. Οι μηχανές αυτές είναι κατάλληλες για πολύ μεγάλα ύψη. Η πίεση του νερού που εισέρχεται στη μηχανή, μειώνεται στην ατμοσφαιρική σε ένα αξονοσυμμετρικό ακροφύσιο, που δημιουργεί μια υψηλής ταχύτητας φλέβα, η οποία προσκρούει σε σκαφίδια τα οποία είναι προσαρμοσμένα στην περιφέρεια ενός τροχού.

Υδροστροβίλοι δράσεως αρκετά κακοσχεδιασμένοι χρησιμοποιήθηκαν αρχικά από τους χρυσοθήρες στην Καλιφόρνια, στην δεκαετία του 1850. Ο τύπος αυτών των μηχανών ελαστήθηκε στην δεκαετία του 1880 σε μια εφραπτομενικής ροής μηχανή, το γνωστό υδροστροβίλο Pelton και σε μια αξονικής ροής μηχανή, που ονομαζόταν στροβίλος δράσεως, η οποία ελαστήθηκε στη δεκαετία του 1920.

Και στους δύο αυτούς υδροστροβίλους ο έλεγχος επιτυγχάνεται με την προσαρμογή του εσωτερικού των ακροφυσίων ενός κώνου, που μπορεί να κινηθεί κατά μήκος τους, για να ελαστήσει να μεταβληθεί η παροχή του νερού. Και οι δύο αυτοί τύποι κινητήριων μηχανών χρησιμοποιούνται στις μέρες μας.

Οι τύποι των υδροστροβίλων που κατασκευάζονται στην εποχή μας είναι οι εξής: *Francis, Pelton, Kaplan*.

2.1 Ορισμός στροβιλομηχανών

ορίζονται ως στροβιλομηχανές οι μηχανές μέσω των οποίων γίνεται εναλλαγή της μηχανικής ενέργειας σε ενέργεια του ρευστού ή αντίστροφα, μέσω συνεχούς ροής του ρευστού και σταθερής περιστροφικής κίνησης.

Μια στροβιλομηχανή χαρακτηρίζεται από τα εξής:

1. Την ροή του ρευστού μέσω της σταθερής ροής μάζας. Το ρευστό μπορεί να είναι συμπιεστό ή ασυμπιεστό.

2. Από την περιστροφική κίνηση, μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά της μηχανικής ενέργειας, η οποία εμφανίζεται υπό την μορφή ροπής M σε στρεφόμενη άτρακτο με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω .

3. Η αντίστοιχη μηχανική ισχύς είναι ίση με $N=M*\omega$

2.2 Θεμελιώδης εξίσωση των στροβιλομηχανών. Εξίσωση ενέργειας μεταφοράς για τους στροβίλους

Η βασική εξίσωση των στροβιλομηχανών είναι:

$$\vec{T} = \vec{r} \times \Sigma \vec{F} = \frac{\partial}{\partial t} \cdot \left[\int \rho (\vec{r} \times \vec{V}_u) dU + \int \rho (\vec{r} \times \vec{V}_s) (\vec{V}_s \times \vec{N}_s) ds \right] \quad (2.1)$$

Εξισώνει τη ροπή στρέψεως που ασκείται από το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων στον όγκο ελέγχου, με το ρυθμό αύξησεως της ροπής της ορμής μέσα στον όγκο ελέγχου, συν τη συνολική εκροή της ροπής της ορμής από τον όγκο ελέγχου.

Με την προϋπόθεση της κυκλικής συμμετρίας, όπου όλες οι φυσικές ιδιότητες είναι ανεξάρτητες, στην είσοδο και την έξοδο της επιφάνειας ελέγχου, η παραπάνω σχέση γίνεται ως εξής:

$$T = m (r_2 \times V_{U2} - r_1 \times V_{U1}) \quad (2.2)$$

Όπου: T είναι η ροπή στρέψεως που ασκείται στο ρευστό

r είναι η μέση ακτίνα περιστροφής του ρευστού

V_u είναι η εφαπτομενική συνιστώσα της ταχύτητας του ρευστού.

Το άθροισμα ΣT αποτελείται από την εξωτερική ροπή στρέψεως T_s (αξονική ροπή) στην τάση στις διατομές εισόδου και εξόδου του όγκου ελέγχου. Σε όλες σχεδόν τις στροβιλομηχανές, η επιφάνεια ελέγχου μπορεί να ληφθεί έτσι, ώστε το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης να είναι αμελητέο.

Η ροπή στρέψεως T_p , η οποία οφείλεται στην πίεση του ρευστού, είναι

$$T_p = \Sigma \Delta P r A_u$$

Όπου ΔP η διαφορά πίεσης δια μέσω της επιφάνειας ελέγχου και

r η ακτίνα, στην οποία η ροπή, μαζί με την επιφάνεια A_u , είναι κάθετη κατά την εφαπτομενική διεύθυνση.

Εάν η ροπή στρέψεως ενεργεί πάνω στο ρευστό κατά τη διεύθυνση της περιστροφής, η ορμή της είναι θετική και η εξίσωση γράφεται:

$$T = T_s + T_p = T_s + \Sigma \Delta P r A_U = m (r_2 V_{U2} - r_1 V_{U1}) \quad (2.3)$$

Από την προκύπτει η σχέση :

$$T_s = m (r_2 V_{U2} - r_1 V_{U1}) - \Sigma \Delta P r A_U \quad (2.4)$$

Ειδή οι περιπτώσεις της ροπής στρέψεως που οφείλονται στην πίεση είναι σπάνιες, για τις στροβιλομηχανές έχουμε την απλή σχέση :

$$T = m (r_2 V_{u2} - r_1 V_{u1}) \quad (2.5)$$

η οποία δίνει την αξονική ροπή στρέψεως.

Παρότι η παραπάνω σχέση είναι η βασική εξίσωση των στροβιλομηχανών, στις εφαρμογές χρησιμοποιούμε συνήθως το **ρυθμό της μεταφοράς ενέργειας** ή την **ειδική ενέργεια μεταφοράς**.

Σε ένα ρώτορα που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ω , ο ρυθμός της ολικής μεταφοράς ενέργειας E_0 δίνεται από τη σχέση :

$$E_0 = \omega T = m (U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1}) \quad (2.6)$$

Η ειδική ενέργεια μεταφοράς, προκύπτει διαιρώντας με την παροχή της μάζας. Δηλαδή :

$$E \text{ ή } H = \frac{E_0}{m} = U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1} \quad (2.7)$$

Η εξίσωση αυτή, παριστάνει την αύξηση του ολικού ύψους ενέργειας του ρευστού σε μια αντλία ή σε ένα συμπιεστή, και την ελάττωση του ολικού ύψους ενέργειας σε ένα σρόβιλο.

Για σρόβιλο ασυμπίεστου ρευστού, δηλαδή για υγρό ή αέριο χαμηλών ταχυτήτων, εφόσον δεν υπάρχουν τριβές, ο ρυθμός της ολικής μεταφοράς ενέργειας ισούται με την ελάττωση της ενέργειας του ρευστού, που είναι:

$$E_0 = \omega T_a = \rho g Q H = m (U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1}) \quad (2.8)$$

$$H = 1/g [U_2 V_{u2} - U_1 V_{u1}] \quad (2.9)$$

Από την εξίσωση ενέργειας μόνιμης ροής, αντικαθιστώντας το άθροισμα $u+P/\rho$ με την ενθαλπία h παίρνουμε :

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot z_1 + q = h_2 + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot z_2 + w \quad (2.10)$$

Τα άθροισμα της ενθαλπίας και της κινητικής ενέργειας είναι η στασιμότητα ή η ολική ενθαλπία h_0 . Έτσι η προηγούμενη σχέση παίρνει την εξής μορφή :

$$h_0 + q = h_{02} + w \quad (2.11)$$

η οποία με : $h = CpT$ δίνει

$$Cp_1 T_{01} + q = Cp_2 T_{02} + W \quad (2.11\alpha)$$

σταθερή την ειδική θερμότητα C_p προκύπτει:

$$W = C_p (T_{01} - T_{02}) + q \quad (2.12)$$

που W είναι το μηχανικό έργο, το οποίο είναι ισοδύναμο με την ενέργεια μεταφοράς E . Η εξίσωση Euler. Για αδιαβατική συμπίεση, ή εκτόνωση, $q = 0$, η παραπάνω σχέση παίρνει την μορφή:

$$W = E = (h_{01} - h_{02}) = C_p (T_{01} - T_{02}) = - (U_1 V_{u1} - U_2 V_{u2}) \quad (2.13)$$

αν το W είναι θετικό και $T_{01} > T_{02}$, το αρνητικό πρόσημο παραλείπεται και έχουμε την παραπάνω σχέση :

$$W = U_1 V_{u1} - U_2 V_{u2} \quad (2.14)$$

3. Απόδοση των στροβιλομηχανών

Στους στροβίλους ο γενικός ορισμός είναι ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς την προσφετιμένη. Η διαθέσιμη ενέργεια στο ράτορα είναι η ωφέλιμη ενέργεια συν τις απώλειες. Οι απώλειες αυτές διακρίνονται σε υδραυλικές και μηχανικές, με αποτέλεσμα να έχουμε δύο επί μέρους βαθμούς απόδοσης, τον υδραυλικό και τον μηχανικό.

Ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης δίνεται από την σχέση:

$$\eta_h = \frac{H}{H_i} \quad (2.15)$$

που H_i είναι η ενέργεια εισόδου στο ράτορα

και η ποσότητα H_i είναι ίση με το $\Delta(UV_u)$ της εξίσωσης του Euler, όπου με V_u παριστάνεται η πραγματική εφαπτομενική ταχύτητα του ρευστού.

Ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως υπολογίζεται από την σχέση :

$$\eta_m = \frac{H_i}{H_s} \quad (2.16)$$

που H_s είναι η ενέργεια που προσδίδεται στον άξονα της αντλίας.

Ο ολικό βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου έχουμε :

$$\eta = \frac{H_s}{H} = n_m \frac{H_i}{H} = n_m \cdot n_h \quad (2.17)$$

αδὴ εἶναι ἴσος με τὸ γινόμενο τῆς υδραυλικῆς καὶ τῆς μηχανικῆς ἀπόδοσης.

δεικτικὲς τιμές τοῦ n_s καὶ τοῦ ὀλικοῦ βαθμοῦ ἀπόδοσης γιὰ τοὺς παραπάνω τύπους υδροστροβίλων.

α/α	Τύπος Υδρ/λου	n_s (N σε KW)	n_k
1	Pelton	9-82	0.888-0.92
2	Francis	68-300	0.935-0.945
3	Deriaz	142-470	0.930-0.940
4	Kaplan	290-860	0.930-0.945
5	Bulb	645-1150	0.910-0.940

3 Κατάταξη υδροδυναμικῶν μηχανῶν

Οἱ υδροστροβίλοι διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

I) δράσεως (Pelton)

II) ἀντιδράσεως (Francis)

3.1 Υδροστροβίλοι δράσεως

Στοὺς υδροστροβίλους δράσεως ἀνήκει ὁ υδροστροβίλος **Pelton**.

Σὲν αὐτὸν τὸν τύπο υδροστροβίλου, στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ κελύφους τοῦ ὑπάρχουν σταθερὰ πτερύγια ποὺ καταλήγουν σε ἀκροφύσια. Ἐτσι τὸ νερὸ ὅταν περνάει ἀπὸ τὰ σταθερὰ πτερύγια, μετατρέπει τὴν υδραυλικὴ τῆς ἐνέργεια σε κινητικὴ. Ἡ δέσμη τοῦ νεροῦ φεύγει ἀπὸ τὰ ἀκροφύσια καὶ προσκρούει με δύναμη πάνω στα πτερύγια τοῦ δρομέα, με αὐτὸν τὸν τρόπο ἐπιτυγχάνεται ἡ περιστροφή τοῦ δρομέα. Μετὰ τὴν πρόσκρουση με τὰ πτερύγια τοῦ δρομέα, τὸ νερὸ βγαίνει, ἔχοντας καινούργια διεύθυνση, ἐφόσον κατὰ τὴν ροή τοῦ σε κάθε ἀφίδιο, ἀκολουθεῖ τὴ διαμόρφωση τῆς ἐπιφάνειας.

Οἱ υδροστροβίλοι δράσεως, ἀνάλογα με τὸ εἶδος τῆς ροῆς τοὺς κατατάσσονται σε :

α) κεντρικῆς ροῆς με φορά πρὸς τὴν περιφέρεια

β) κεντρικῆς ροῆς με φορά πρὸς τὸ κέντρο

γ) ἀξονικῆς ροῆς

δ) φαινομενικῆς ροῆς

3.2 Υδροστροβίλοι ἀντιδράσεως

Στοὺς υδροστροβίλους ἀντιδράσεως ὅπου ἀνήκει ὁ υδροστροβίλος **Francis** τὸ νερὸ ὅταν προσκρούει στὸ δρομέα ἔχει ἐκτὸς ἀπὸ τὴν κινητικὴ τῆς ἐνέργεια, ἐνέργεια πίεσης. Τὰ σταθερὰ πτερύγια τοῦ υδροστροβίλου, εἶναι τοποθετημένα στὴν περιφέρειά τοῦ καὶ τὸ νερὸ περνάει ἀπὸ τὰ σταθερὰ καὶ κινητὰ πτερύγια χωρὶς νὰ ἀφήνει κενά. Τὸ νερὸ ἐξέρχεται ἀπὸ τὸ στροβίλο εἴτε ἐλεύθερα, εἴτε ὑπὸ πίεση. Σε αὐτὸν τὸν τύπο υδροστροβίλου γίνεται ἀπομάκρυνση τόσο τῆς κινητικῆς ἐνέργειας ὅσο καὶ τῆς δυναμικῆς ἐνέργειας.

διακρίνονται και αυτοί σύμφωνα με το είδος της ροής τους σε :

Ακτινικής ροής με φορά προς την περιφέρεια

Ακτινικής ροής με φορά προς το κέντρο

Αξονικής ροής

Μικτής ροής

Οι κατασκευαστικές πλευρές διακρίνονται σε :

Υδροστροβίλους οριζόντιου άξονα

Υδροστροβίλους κατακόρυφου άξονα

Χαρακτηριστικά μεγέθη

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός υδροστροβίλου είναι :

Η παροχή του νερού

Το καθαρό ύψος πτώσης

Ο αριθμός στροφών. Ο αριθμός στροφών του υδροστροβίλου εκλέγεται έτσι ώστε να συμβιβάζεται με τον αριθμό στροφών της ηλεκτρογεννήτριας την οποία κινεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ - ΣΤΑΘΜΟΙ

Αρχή αξιοποίησης

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΥΗΣ) μετατρέπεται η κινητική ή και δυναμική ενέργεια του τρεχούμενου νερού σε μηχανική ενέργεια μέσω ενός υδροστροβίλου που λειτουργεί, σε αυτή την περίπτωση, σαν μετατροπέας ενέργειας. Η γεννήτρια που είναι σε άξονα με τον υδροστρόβιλο, μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Ανάλογα με την υψομετρική διαφορά του νερού που διεργάζονται τα εργοστάσια τα κρινουμε σε σταθμούς χαμηλής (0-20m), μέσης (20-100m) και υψηλής πίεσης ($\geq 100m$). Οι υψομετρικές διαφορές που διεργάζονται είναι από μικρά μέτρα, π.χ 3m, μέχρι και 1500m. Οι σταθμοί στην χώρα μας είναι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δεξαμενής, κατά κανόνα, και λειτουργούν στην ισχύ τους. Αυτοί χρησιμοποιούν το νερό που είναι αποθηκευμένο σε μια δεξαμενή χωρητικότητας τάξης μεγέθους $10^9 m^3$. Στο εξωτερικό, σε μεγάλα ποτάμια (π.χ. Γαλλία), χρησιμοποιούνται και σταθμοί φυσικής ροής. Εδώ χρησιμοποιείται η ροή του νερού για την παραγωγή ενέργειας.

Η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται από την γεννήτρια είναι η δυναμική ενέργεια του νερού επί ένα βαθμό απόδοσης που είναι το γινόμενο της απόδοσης των αγωγών, $\eta_a = 0,93 \dots 0,99$, του στροβίλου $\eta_T = 0,85 \dots 0,94$ και της γεννήτριας $\eta_G = 0,95 \dots 0,99$. Ο ολικός βαθμός απόδοσης η της απόδοσης ενέργειας κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,75 και 0,92.

Η ισχύ έχουμε:

$$P = \eta * \gamma * Q * H \quad (3.1)$$

που:

$\eta = \eta_a * \eta_T * \eta_G$ ο ολικός βαθμός απόδοσης,

γ είναι το ειδικό βάρος του νερού σε N/m^3 , δηλαδή $\gamma = 9807 N/m^3$.

Q είναι η παροχή του νερού στο στρόβιλο σε m^3/s ,

H είναι η διεργαζόμενη διαφορά σε μέτρα m.

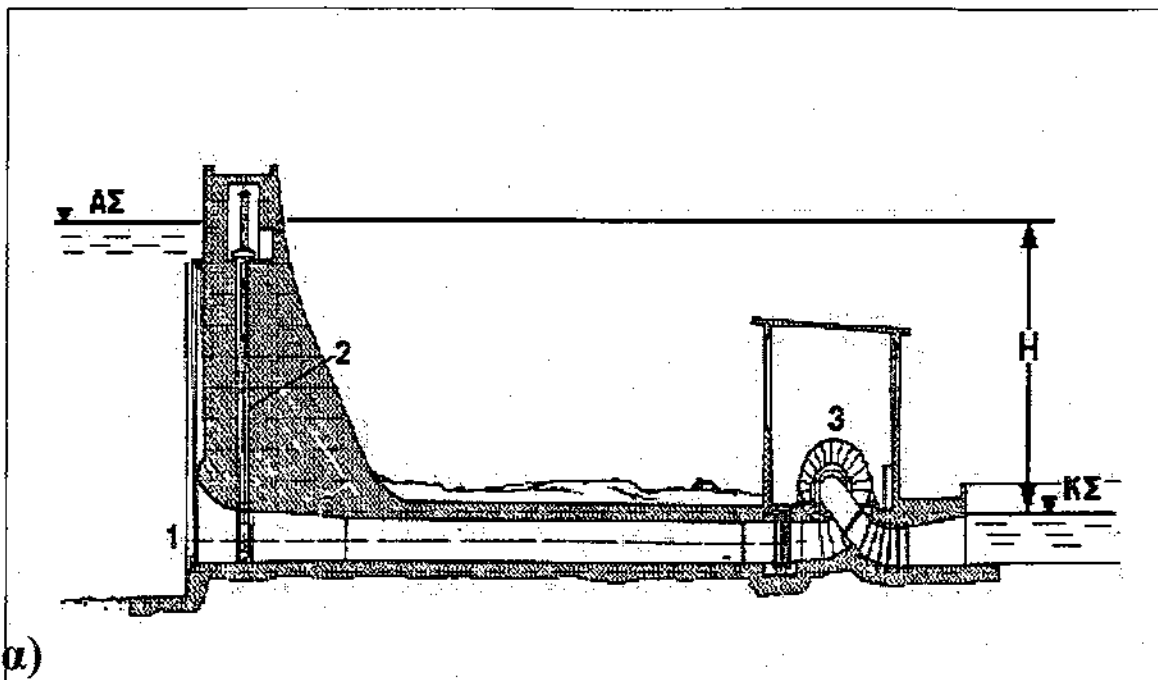
Επί ένα βαθμό απόδοσης 0,82 η ισχύς είναι:

$$P = 0,82 * Q * H \quad (KW)$$

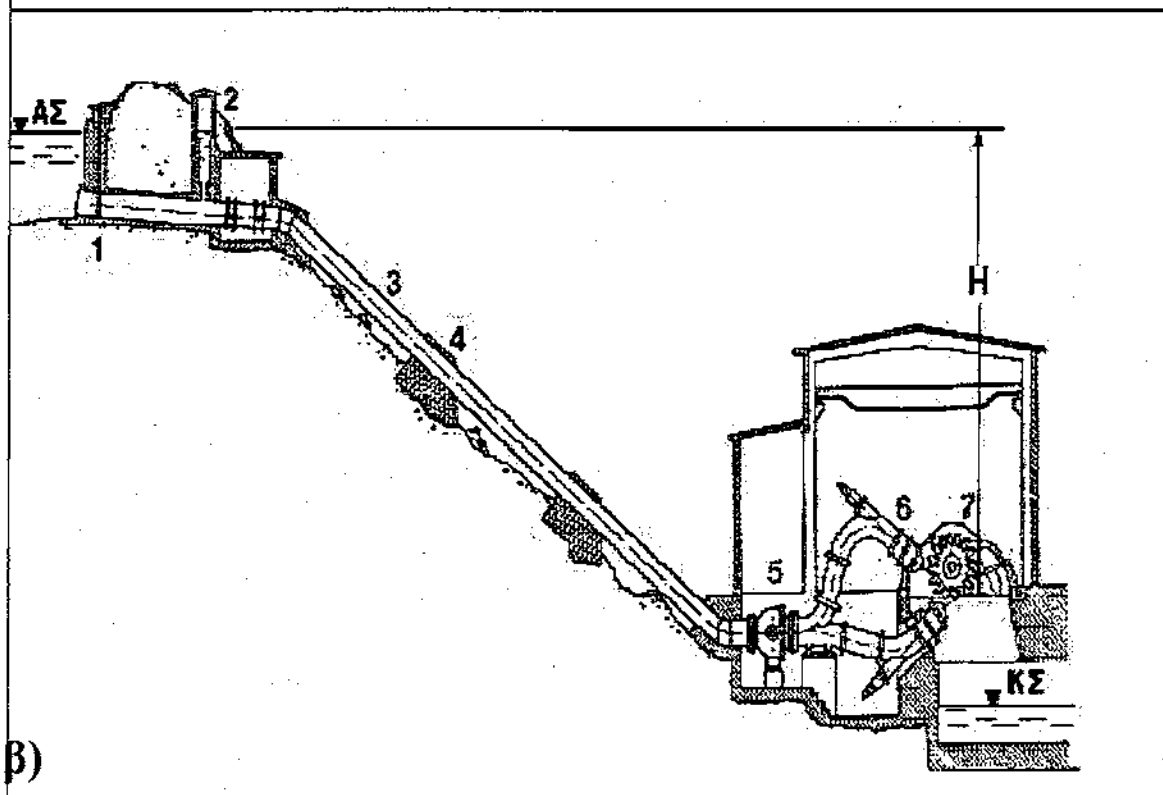
που Q είναι σε μέτρα m^3/s και H σε m.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των ΥΗΣ είναι ότι, η ισχύς των ρυθμίζεται σε χρόνους πολύ πιο σύντομους απ'ότι σ'ένα ΑΗΣ. Έτσι, χρησιμοποιούνται σαν ρυθμιστικά εργοστάσια για την ρύθμιση ροής ισχύς στο δίκτυο εκεί όπου απαιτούνται μικρές χρονικές καθυστερήσεις.

Ρυθμιστικά εργοστάσια είναι συνήθως ΥΗΣ. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται ο σταθμός του Καστρακίου για την ρύθμιση της ροής της ισχύς μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας.



α)



β)

3.1 Μορφές υδροηλεκτρικών σταθμών (ΥΗΣ)

α) ΥΗΣ στον πυθμένα χαράδρας

1. σχάρα 2. αποφρακτικό όργανο 3. στρόβιλος

β) ΥΗΣ δεξαμενής υψηλής στάθμης

1. αποφρακτικό όργανο 2. δεξαμενή απόσβεσης 3. σωλήνα 4. στερέωση στο ιψος 5. σφαιροειδής βαλβίδα 6. βελονοειδής βαλβίδα ρύθμισης ισχύος 7. στρόβιλος

υδροηλεκτρικοί σταθμοί ανήκουν στα μεγαλύτερα έργα της τεχνικής. Συνδυάζουν την παραγωγή της ενέργειας και την άρδευση. Η πραγματοποίησή τους όμως είναι πολυδάπανη μακροχρόνια. Ένα από τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά φράγματα είναι στον ποταμό ΑΙΡΥ στα σύνορα Βραζιλίας - Παραγουάης.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΒΡΑΖΙΛΙΑ-ΠΑΡΑΓΟΥΑΗ

Ισχύς : 12,6 GW

Μονάδες : 18

Ισχύς μιας μονάδας: 700MW

Αρχή εργασιών 1962

Αρχή παραγωγής 1984

Κόστος παραγωγής 19 δισεκ. Ευρο.

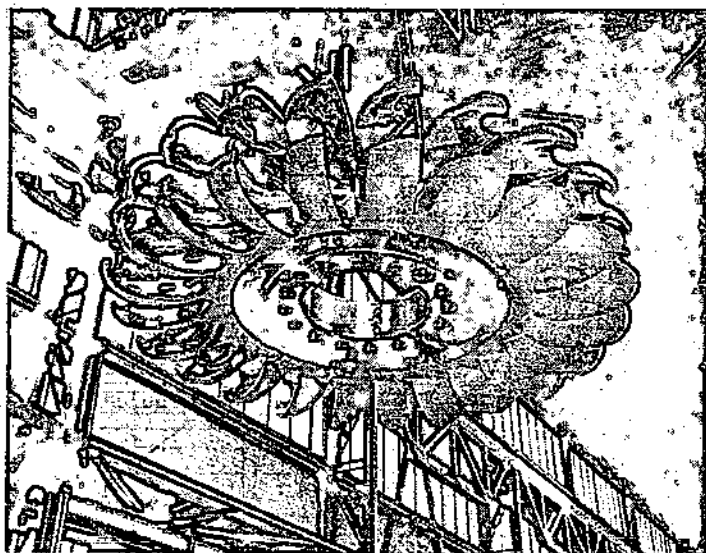
Η ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΤΗΝ ΑΜΕΡΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ WASHINGTON ΣΤΑΘΜΟΣ 10,1 GW ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΑΠΟ ΤΟ 1962. ΤΟ 1982 Η ΕΣΣΔ ΑΝΗΓΓΕΙΛΕ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ, ΙΣΧΥΣ 12,6 GW ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ TUNGUSKA, ΣΙΒΗΡΙΑ. ΣΤΗΝ ΧΩΡΑ ΜΑΣ Ο ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΟΝ ΚΑΛΑΜΑΡΙ, ΛΕΓΕΤΑΙ ΥΗΣ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΙΝΑΚΑ.

Οι υδροστρόβιλοι εργάζονται αποδοτικά σε περιστροφικές ταχύτητες κάτω των 5000 ($=3000 \text{ min}^{-1}$). Έτσι, χρειάζεται μια προσαρμογή της ταχύτητάς τους με την ταχύτητα του δικτύου που είναι στα 50 HZ. Αυτό γίνεται με κατάλληλη εκλογή του αριθμού των πόλων της γεννήτριας.

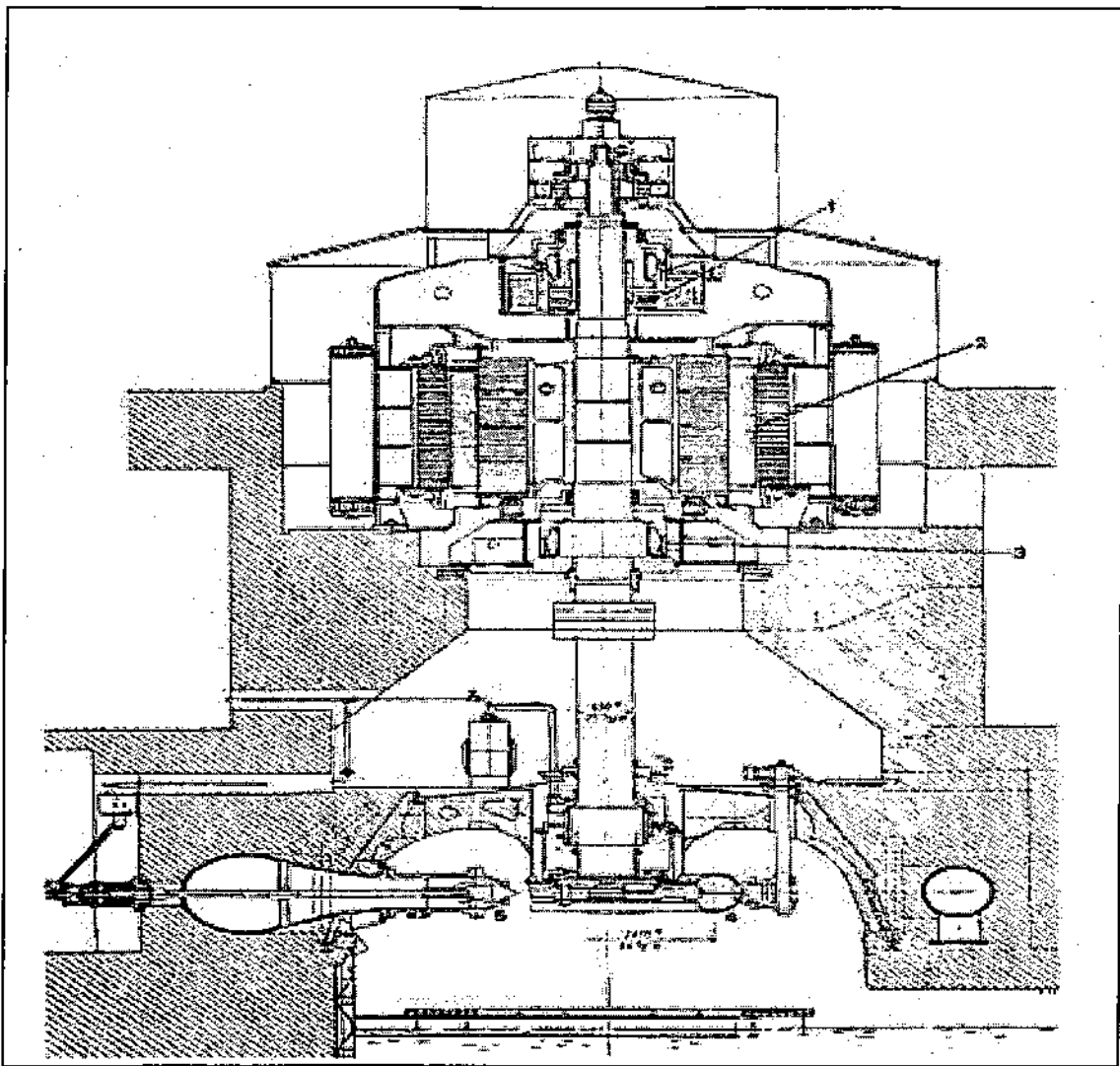
Σε συνδυασμό με υδροηλεκτρικούς σταθμούς, χρησιμοποιούνται οι όροι πρωτογενής και δευτερογενής ενέργεια.

Πρωτογενής ενέργεια είναι εκείνη που ρυθμίζεται και μπορεί να προσαρμοσθεί στην παραγωγή, όπως π.χ. σε διάφορους σταθμούς δεξαμενής.

Δευτερογενής ενέργεια είναι εκείνη που δεν μπορεί να προσαρμοσθεί στην ζήτηση, όπως π.χ. στα εργοστάσια φυσικής ροής.



Σχ. 3.1α Τροχός Pelton



3.1β Τομή στροβίλου Pelton
1. ωστικό έδρανο 2. γεννήτρια 3. οδηγό έδρανο 4. Pelton τροχός 5. βελονοειδής βαλβίδα

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ

Υδρολογικά δεδομένα	
Επιφάνεια αποχετευόμενη	411km ²
Μέση ετήσια παροχή εισροής	196m ³ /s
Ισχύς, ενέργεια στους ζυγούς	
Ισχύς	320MW
Ενέργεια, μέση ετήσια, συνολική	930GWh
Ενέργεια ρυθμιζόμενη	703 GWh
Δεξαμενή	
Κανονικό υψόμετρο	1442m
Επιφάνεια	28 km ²
Όγκος	0,782 X 10 ⁹ m ³
Σωλήνες προσαγωγής νερού	4 X 5,8m
Κανάλι παράκαμψης Αχελώου	8m
Σταθμός	
Υδροστρόβιλοι	4 FRANCIS κατακόρυφου άξονα
Διεργαζόμενο ύψος	74,5m
Ισχύς έκαστου στροβίλου	84MW
Στροφές	166,7min ⁻¹
Γεννήτριες	
Ισχύς γεννητριών	77-89MVA
Τάση	15KV
Συντελεστής ισχύος	cos φ=0,9
Μετασχηματιστής	
Τύπος /ισχύς	τριφασικός / 90 MVA ,τρεις ΜΣ
Ψύξη	ΟFAF
Τάση	161 / 15 KV Yd

Τεχνικά έργα για την κατασκευή και λειτουργία υδροηλεκτρικού σταθμού
κυριότερα τεχνικά έργα για την κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού σταθμού διακρίνονται
δύο κατηγορίες: **τεχνικά έργα συγκέντρωσης**
τεχνικά έργα προσαγωγής.

1.1 Τεχνικά έργα συγκέντρωσης

αυτή την κατηγορία ανήκουν τα φράγματα, δηλαδή το έργο που θα βοηθήσει την
απόσυρση του νερού. Πριν όμως αναφερθούμε στα φράγματα είναι αναγκαίο να
απαιτούμε ότι ένα σημαντικό βοηθητικό έργο για την κατασκευή τους είναι η **σήραγγα**
απορροής που θα βοηθήσει στην αλλαγή πορείας των υδάτων.

Οι φράγματα ανάλογα με το σχήμα τους και τα υλικά κατασκευής τους διακρίνονται :

Φράγματα βαρύτητας. Κατασκευάζονται συνήθως από σκυρόδεμα

Ποζοτά φράγματα. Κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και το όνομά τους το πήρανε από
τη μορφή του σχήματός τους (παρουσιάζουν μια εσωτερική και μια εξωτερική καμπύλη).

Γαίολοφράγματα. Κατασκευάζονται από φυσικά υλικά όπως, χώμα, πέτρες και ο πυρήνας
τους είναι από αδιαπέραστο υλικό π.χ Άργιλο. Στην κατηγορία αυτών των φραγμάτων
ήκει και το φράγμα του υδροηλεκτρικού σταθμού «Πουρναρίου Ι» όπου αναφερόμαστε
αλυτικά παρακάτω.

Για την προστασία του φράγματος κατασκευάζονται :

Προστασία υπερχειλιστής. Είναι το έργο το οποίο θα «σώσει» το φράγμα από πλημμύρα και από
καταστροφή του.

Προστασία εκκενωτής πυθμένα . Μέσω αυτού εκκενώνεται ο ταμιευτήρας σε περίπτωση
πλημμύρας ή συντήρησης.

Προστασία υδροληψία. Το στόμιο εισόδου του αγωγού προσαγωγής.

1.2 Τεχνικά έργα προσαγωγής

Εξοπλισμός αγωγού και αγωγός προσαγωγής. Το σύστημα όπου θα πάρει το νερό από τον ταμιευτήρα θα το καθοδηγήσει στα πτερύγια του υδροστροβίλου.

Υδροφράγματα. Είναι οι θύρες οι οποίες βρίσκονται στην είσοδο του αγωγού προσαγωγής και ανοιγοκλείνουν υδραυλικά σε περίπτωση κινδύνου (υπερτάχυνση υδροστροβίλου, σημαντική βλάβη που πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας ολόκληρη η μονάδα) ή στην περίπτωση συντήρησης της μονάδας.

Κύργος εκτονώσεως. Προστατεύει τον αγωγό προσαγωγής από υπερπιέσεις και κρούσεις.

Τα τεχνικά έργα που αναφέρονται πιο πάνω, αναπτύσσονται αναλυτικότερα στην συνέχεια της εργασίας.

Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποτελείται από τους υδροστροβίλους, τις ηλεκτρογεννήτριες, τους μετασχηματιστές, τους ασφαλειοαποζεύκτες, και τον βοηθητικό εξοπλισμό, όπως τα ανυψωτικά μηχανήματα (γερανογέφυρες), το σύστημα πεπιεσμένου αέρα και λαδιού, τους αυτοματισμούς προστασίας.

Κάθε ηλεκτρογεννήτρια είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον άξονα του υδροστροβίλου. Οι μετασχηματιστές ανυψώνουν την τάση που παράγουν οι ηλεκτρογεννήτριες στην υψηλή τάση του διασυνδεδεμένου δικτύου ώστε η μεταφορά της ενέργειας να γίνεται με τις ελάχιστες απώλειες.

Ιστορικό των υδροηλεκτρικών μονάδων στην Ελλάδα.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα υδροηλεκτρικά έργα της Ελλάδας κατά χρονολογική σειρά κατασκευής τους μαζί με τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Όλων των έργων αυτών την κατασκευή και διαχείριση έχει η Δ.Ε.Η. στην οποία και ανήκουν.

α/α	Έργο	Έτος	N _ο	MW/u	H(m)	RPM	GWH
1	Πατρών	1927	1	1,6			
2	Βέροιας	1929	2	0,9			
3	Σερρών	1931	3	0,2			
4	Λούρος I, II	1954	2	2,5	60,5	500,0	59
5	Άγρας	1954	2	25,0	158,0	428,0	
6	Λάδωνα	1955	2	35,0	239,0	428,0	340
7	Ταυρωπός	1960	3	43,3	577,0	500,0	250
8	Λούρου III	1964	1	5,0	60,5	300,0	
9	Κρεμαστά	1967	4	109,0	124,0	166,7	1430
10	Καστράκι	1969	4	80,0	76,0	166,7	930
11	Εδεσσαίος	1969	1	19,0	120,0	428,0	30
12	Πολύφυτο	1975	3	125,0	146,5	214,3	584
13	Πουρνάρι	1981	3	100,0	68,0	150,0	467
14	Ασώματα	1985	2	54,0	38,7	136,0	189
15	Σφηκιά	1985	3	105,0	58,5	125,0	660
16	Γκιώνα	1985	1	8,5	62,0	500,0	
17	Στράτος II	1988	2	3,0	16,8	300,0	16
18	Στράτος I	1989	2	75,0	36,6	107,0	400
19	Αώος I, II	1990	2	110,0	652,0	428,6	200
20	Μακροχωρίου	1992	3	3,6	15,8	250,0	
21	Θησαυρός	1996	3	140,0	160,0	214,3	

Χρονικά κύρια χαρακτηριστικά των κυριότερων υδροηλεκτρικών έργων (Υ.Η.Ε) της Ελλάδας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΗΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ Ι

Τεχνικά χαρακτηριστικά

.1 Τεχνητή λίμνη

Μέγιστος όγκος αποθηκείσεως	865.000.000 m ³
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας	υψομ. 126
Ανώτατη στάθμη λειτουργίας	υψομ. 120
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας	υψομ. 100
Εφέλιμη χωρητικότητα	355 X 10 ⁶ m ³
Επιφάνεια για ανώτατη στάθμη λειτουργίας	20,6KM ²

.2 Σήραγγα εκτροπής

Πλάτος διατομής με εσωτερική μέτρο	10,5m
Μήκος	700m
Απορροή μελέτης	1720μ ³ /sec
Απόσταση πυθμένα στην είσοδο	39,5m
Απόσταση πυθμένα στην έξοδο	38m
Κατασκευαστική έμφραξη	Πώμα από σκυρόδεμα με αγωγούς άρδευσης

.3 Φράγμα

Μόλιμο συνολικού όγκου	9.000.000 m ³
Μόλιμο στέψη	υψομ. 128
Μέγιστο ύψος από την θεμελίωση του φράγματος	107m
Μέγιστο πάχος στέψης	10m
Μήκος φράγματος στην βάση του	450m

Συγκρότημα εκχειλιστή

Βρίσκεται στην δεξιά πλευρά του φράγματος για να μπορεί να ελέγχει της πλημμύρες.

Αποδοτικότητα του για την πλημμύρα αγγίζει τα 6.100 m³/sec και αποτελείται από:

1.1 Έργο εισόδου

προσαγωγό διώρυγα και ερχειλιστή	
διάμετρο στέψης	107,5
προφράγματα	3 τοξωτά
διαστάσεις θυροφραγμάτων	12,5m πλάτος και 12,5m μήκος.

1.2 Διώρυγα απαγωγής:

μήκος	260m
πλάτος	43,5m
κλίση που μεταβάλετε	από 5% μέχρι 25%

1.3 Λεκάνη αποτόνωσης

κενωτής πυθμένα:

είσεται μπροστά από το σύστημα προσαγωγής.

έχει συνολικό μήκος 503 m από τα οποία τα πρώτα 404 m έχουν εσωτερική διάμετρο 7 m
και τα υπόλοιπα 7.2 m.

έχει παροχετευτική ικανότητα 300 m³/sec.

ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Σύστημα προσαγωγής

αριθμός 3

κυκλική πλαισιωτή κατασκευή με μεταλλικές σχάρες προστασίας.

1.2 Σήραγγες προσαγωγής

έχουν κυκλική διατομή με οπλισμένο σκυρόδεμα απέναντι από το διάφραγμα
παραγωγής του φράγματος και με χαλύβδινη επένδυση και σκυρόδεμα κάτω από το
διάφραγμα.

εσωτερική διάμετρος κάθε σήραγγας είναι 7 m και καταλήγουν στον σταθμό στα 6 m.

στην έμφραξη κάθε σήραγγας έχει κατασκευαστεί στο μπροστινό της τμήμα ένα φρεάτιο
κυκλιόμενο μεταλλικό θυρόφραγμα διαστάσεων 4,5 m X 7 m. Το ύψος κάθε φρεατίου
είναι 42 m και η διάμετρος του είναι 605 m.

1.3 Σταθμός παραγωγής

είσεται στην αριστερή όχθη του ποταμού και 250 m κάτω από το φράγμα. Κάτω από τον
σταθμό έχει κατασκευαστεί διώρυγα φυγής μήκους 90 m και πλάτους 60 m.

το κτίριο του σταθμού είναι 90 m μήκους και 36 m πλάτους και αποτελείται από τρεις
όροφος,

ο σταθμός έχει εξωτερική γερανογέφυρα στην οροφή του, ανυψωτικής δυνάμεως 380 tons
και 25 tons.

4. Λειτουργία μονάδων

Αριθμός στροβίλων	3
Τύπος	FRANCIS
Ισχύς	140.000HP
Ονομαστικός αριθμός στροφών	150στρ/min
Αριθμός γεννητριών	3
Τύπου	κατακόρυφου άξονα- Σύγχρονες
Στροφές	150στρ/min
Ισχύς	111MVA
Συντελεστής ισχύος	0,9
Συχνότητα	50HZ
Φάσεις	3
Τάση	15,750KV
Μετασχηματιστής ισχύος	3
Τριφασική με βεβιασμένη ψύξη	
Ονομαστική ισχύς	130MVA
Τάσεις	161,250KV/15,750KV
Συχνότητα	50HZ

5. Εκχειλιστής με τρία ακτινικά θυροφράγματα

Ο ΥΗΣ Πουρναρίου περιλαμβάνει τρία θυροφράγματα ακτινικού τύπου διαστάσεων 5 m X 13,2 m Κατά την ομαλή λειτουργία του εργοστασίου τα θυροφράγματα θα παραμένουν κλειστά και η στάθμη της λίμνης θα κυμαίνεται μεταξύ των υψομέτρων 100 και 120.

Κατά την κανονική στάθμη λειτουργίας, δηλ υψομ. 120, οι εισροές στον ταμιευτήρα μέχρι περίπου 500 m³/sec μπορούν να παροχετευτούν μέσω των τριών στροβίλων του σταθμού παραγωγής.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση που ο σταθμός αδυνατεί να λειτουργήσει και η εισροή στον ταμιευτήρα είναι πολύ μεγαλύτερη των 500 m³/sec, θα παρατηρηθεί τάση ανυψώσεως της στάθμης λίμνης πάνω από το υψόμετρο 120.

Κατά αυτή την περίπτωση θα πρέπει να αρχίσει το βαθμιαίο άνοιγμα των θυροφραγμάτων. Το άνοιγμα θα πρέπει να αυξάνει βαθμιαία έτσι ώστε η στάθμη της λίμνης να παραμένει σταθερή στο υψομ 120 (εξίσωση εκροών με εισροές). Τα τρία θυροφράγματα κατά την ανυψώσή τους θα πρέπει να έχουν το ίδιο άνοιγμα.

Για στάθμη της λίμνης στο υψομ. 120 και πλήρως ανοιχτά θυροφράγματα η παροχή του εκχειλιστή είναι περίπου 3250 m³/sec και η στάθμη θα συνεχίσει να ανεβαίνει σε περίπτωση που η εισροή στον ταμιευτήρα είναι μεγαλύτερη της παραπάνω παροχής. Η κριτική στάθμη του ταμιευτήρα για την μέγιστη πιθανή πλημμύρα δεν ξεπερνά το υψόμετρο 126 και η παροχή εκροής είναι 6000 m³/sec περίπου.

Μετά το πέρας της αιχμής της πλημμύρας η στάθμη της λίμνης θα αρχίσει να πέφτει. Τα θυροφράγματα θα πρέπει να παραμείνουν πλήρως ανοιχτά έως ότου η στάθμη θα πέσει στο υψομ 120. Όταν η στάθμη βρίσκεται σε αυτό το υψόμετρο και αρχίζει να υποχωρεί τότε θα

είσουν βαθμιαία διατηρώντας την στάθμη της λίμνης στο υψόμετρο 120 μέχρι το πλήρες κλείσιμο όταν τελειώσει η πλημμύρα.

Η πρωσαναφέρουσα διαδικασία λειτουργίας των θυροφραγμάτων εξασφαλίζει ασφαλή ανάσχεση όλων των πλημμύρων, ακόμα και για τις πιο ακραίες περιπτώσεις, και η εξασφάλιση της κανονικής στάθμης του ταμιευτήρα μετά την λήξη του πλημμυρισμού.

Η λειτουργία κάθε θυροφράγματος γίνεται μέσω 2 συρματοσχοινίων στερεωμένα άμεσα στο σώμα του θυροφράγματος, τα οποία στηρίζονται σε δυο τροχαλίες που βρίσκονται στο κάτω μέρος του θυροφράγματος. Το σύστημα συμπληρώνεται με μια τροχαλία που είναι ένα σώμα με το πλαίσιο του ανυψωτικού μηχανισμού.



Σχ 4.3.5 ΑΚΤΙΝΙΚΑ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ ΕΚΧΕΙΛΗΣΤΗ

4.6 Εκκενωτής πυθμένα

Ο εκκενωτής πυθμένα θα λειτουργήσει μαζί με τον εκχειλιστή και το σταθμό παραγωγής σε περίπτωση επιτακτικής και επείγουσας ανάγκης καταβιβασμού της στάθμης του ταμιευτήρα.

Ο εκκενωτής πυθμένα θα αρχίσει να λειτουργεί με την ανατίναξη της μεταλλικής κεφαλής, στη χιλιομετρική θέση (χ.θ) 0+303,5 από το υψόμετρο στάθμης ταμιευτήρα 110.

Η στάθμη λίμνης 110 m η μέγιστη παροχή είναι της τάξεως των $310 \text{ m}^3/\text{sec}$. Από το υψόμ. 100 έως το υψομ. 83 η ροή είναι υπό πίεση. Από το υψόμ 81 και κάτω η ροή είναι ελεύθερη και μεταξύ των υψομέτρων 83 και 81 η ροή είναι μεταβατική.

Η λειτουργία του εκκενωτή θα διακοπεί με το κλείσιμο του επιπέδου θυροφράγματος της κατασκευής εισόδου. Το θυρόφραγμα αυτό μπορεί να κλείσει και υπό συνθήκες ροής σταθμες λίμνης μικρότερες του υψομ. 110.

4.7 Υποσταθμός ζεύξεως 150KV

Εξέρχονται τρεις γραμμές των 150 KV από τον σταθμό παραγωγής και εξέρχονται τρεις γραμμές μεταφοράς των 150 KV που συνδέουν τον ΥΗΣ Πουρναρίου με το Κέντρο Υψηλής Τάσης (ΚΥΤ) Αράχθου.



Σχ 4.3.7 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΖΕΥΞΗΣ 150 KW

ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

4.1 Σχεδίαση και λειτουργία της γεννήτριας

Η γεννήτρια έχει κατασκευή τύπου ομπρέλας με το ωστικό έδρανο συναρμολογημένο στο κάτω πλαίσιο στηρίξεως και τα δύο οδηγιά έδρανα στα άνω και κάτω πλαίσια στηρίξεως αντίστοιχα.

Μαζονικά με την γεννήτρια συνδέεται η μαγνητοηλεκτρική (διέγερση) που τροφοδοτείται ηλεκτροδυναμικό ρυθμιστή στροφών του στροβίλου. Η γεννήτρια δεν έχει ξεχωριστό άξονα της άξονα, αλλά ο δρομέας της που φέρει το κύριο σώμα της αράχνης συνδέεται

ονικά απευθείας, από το κάτω πλάτυσμα του, με το πλάτυσμα του άξονα του στροβίλου.

ο άνω πλάτυσμα του δρομέα της αράχνης συνδέεται η προέκταση του άξονα που φέρει τη φάνη τριβής του άνω οδηγού εδράνου, τα δαχτυλίδια ολισθήσεως και τον δρομέα της γνητοηλεκτρικής γεννήτριας.

στάτης της γεννήτριας έχει ελάσματα εδράσεως που εφαρμόζουν πάνω στους πόδες μελιώσεως σχηματίζοντας και οχτώ αεραγωγούς για την κυκλοφορία του αέρα ψύξεως. ο άνω πλάτυσμα του πλαισίου του στάτη εδράζεται το άνω πλαίσιο στηρίξεως της γεννήτριας.

αυλακωτές λαμαρίνες καλύψεως του άνω πλαισίου στηρίξεως δεν αποτελούν τμήμα του πλέδου του μηχανοστασίου.

νω από τα ελάσματα καλύψεως του κεντρικού σώματος του άνω πλαισίου στηρίξεως αι εγκατεστημένο το συγκρότημα που περιλαμβάνει τα δαχτυλίδια ολισθήσεως του τίγματος διεγέρσεως της γεννήτριας, το σύστημα των ψηκτρών τους και την γνητοηλεκτρική γεννήτρια.

κάτω πλαίσιο στηρίξεως στηρίζεται πάνω στην θεμελίωση της γεννήτριας μέσω των σμάτων εδράσεως. Μεταξύ των βραχιόνων του πλαισίου στηρίξεως υπάρχει αυλακωτή οροφή που χωρίζει τους κενούς χώρους της γεννήτριας από αυτούς του στροβίλου.

σύστημα πεδήσεως που συναρμολογούμενο πάνω στους βραχίονες του πάνω πλαισίου στηρίξεως, μπορεί να επιθεωρείται από την οροφή του κάτω πλαισίου στηρίξεως.

ενεμισμός της γεννήτριας γίνεται με ανακύκλωση του αέρα σε κλειστά διαμερίσματα. Ο αέρας ψύχεται με τα ψυγεία νερού που είναι διατεταγμένα κυκλικά γύρω από το πλαίσιο του στάτη.

γεννήτρια στρέφεται κατά την φορά των δεικτών του ρολογιού.

2 Κύρια τμήματα γεννήτριας

Στάτης:

Χωρίζεται σε 4 τμήματα και αποτελείται από το πλαίσιο, τον πυρήνα με το τύλιγμα, ελάσματα εδράσεως, τους κοχλίες συσφίξεως και τις σκάλες.

Δρομέας:

Αποτελείται από το κεντρικό σώμα της αράχνης, από τους βραχίονες, τα ελάσματα στηρίξεως πόλων, τον δίσκο πεδήσεως, τους πόλους, τους αγωγούς τροφοδοτήσεως με τα δαχτυλίδια ολισθήσεως και προέκταση του άξονα με τη συστοιχία πελμάτων του άνω οδηγού εδράνου.

Ζώνη κάτω πλαισίου στηρίξεως:

Αποτελείται από το κεντρικό σώμα με οκτώ βραχίονες, τη δεξαμενή λαδιού ωστικού εδράνου, το κάτω οδηγώ έδρανο μέσα στο κεντρικό σώμα, διαχωριστικά και αναγνωριστικά εξαρτήματα δεξαμενής λαδιού, το περίβλημα του ωστικού εδράνου με τους κοχλίες στηρίξεως, υποστηρίγματα πεδήλων, τα πέδιλα, τον δίσκο και την συστοιχία πελμάτων ωστικού εδράνου, τους τομείς οδηγού εδράνου και τους κοχλίες τους, τα ψυγεία ωστικού και οδηγού εδράνου, το σύστημα τροφοδοτήσεως του ωστικού εδράνου με τον αντλία υπό πίεση, το αντίστοιχο αντλιακό συγκρότημα, τους γρύλους πεδήσεως με τους αλτήρες τους και τα ελάσματα καλύψεως μεταξύ των βραχιόνων.

Ζώνη άνω πλαισίου στηρίξεως:

Αποτελείται από το κεντρικό σώμα με τη δεξαμενή λαδιού του άνω ωστικού εδράνου, τους τομείς του οδηγού εδράνου, τα ψυγεία λαδιού του, οκτώ μετακινούμενους βραχίονες, ελαστικά καλύψεως, κοχλιοφόρους θέσεως, διαχωριστικές λαμαρίνες και ελάσματα καλύψεως-εφαρμογής.

Μαγνητοηλεκτρική γεννήτρια:

Είναι μια τριφασική σύγχρονη γεννήτρια με πόλους μόνιμης μαγνητίσεως και αποτελείται από τον στάτη, το δρομέα και το σχετικό εξοπλισμό του.

Συρματώσεις γεννήτριας:

Ψηκτροφορείς δακτυλιδιών ολισθήσεως, καλώδια και ζυγοί εσωτερικού της γεννήτριας, ακροκιβώτια και σχετικά συνδέσεων και στερεώσεων.

Σύστημα πεδήσεως:

Περιλαμβάνει οριακούς διακόπτες, πίνακα ελέγχου με όργανα και κινητό αντλιτικό συγκρότημα υψηλής πίεσης αέρα.

Σύστημα αερισμού:

Αποτελείται από ψυγεία αέρα με τις σωληνώσεις διακλαδώσεως και τις άνω και κάτω φωτές.

Σωληνώσεις λαδιού και νερού:

Οι σωληνώσεις είναι διαφόρων διαμέτρων με φλάντζες και βάνες απομονώσεως.

Εξοπλισμός θερμικού ελέγχου:

Ελέγχει την γεννήτρια, το ωστικό έδρανο, των οδηγώ εδράνων, συστήματος ψύξεως πεδήσεως.

Θερμαντικά σώματα

Σειρά ανταλλακτικών

Σειρά ειδικών εργαλείων

Σειρά υλικού ανεγέρσεως



Σχ 4.4 ΧΩΡΟΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΙΟΣ

Γενικά:

Τρεις υδραυλικές μονάδες 300 KW συνολικής ισχύος βρίσκονται τοποθετημένες στον εκτροπαγωγικό σταθμό Πουρναρίου. Οι μονάδες είναι τύπου FRANCIS και ο άξονάς τους είναι κατακόρυφος. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό των υδροστροβίλων υπάρχει στον σταθμό, εγκατεστημένος βοηθητικός εξοπλισμός για το σύστημα ελέγχου των υδροστροβίλων και για να χρησιμοποιηθούν οι μονάδες σαν σύγχρονες γεννήτριες.

Ο βοηθητικός εξοπλισμός είναι εγκατεστημένος στο E.I 43,5 ενώ στο επάνω μέρος και στο E.I 49,5 βρίσκεται εγκατεστημένη μια γεννήτρια και είναι συνδεδεμένη με τον άξονα του στροβίλου.

Η περιστροφή του στροβίλου πρέπει να είναι δεξιόστροφη όταν κοιτάζουμε από το επάνω μέρος

1 Σχεδιασμός του υδροστροβίλου:

Σύμφωνα με την σχεδίαση των υδροστροβίλων, τους διακρίνουμε σε δύο τμήματα:

σταθερά
στρεφόμενα

σταθερά:

σταθερά πτερύγια και ο σταθερός δακτύλιος, το σπειροειδές περίβλημα, οι σταθερές σωληνώσεις,

στρεφόμενα:

δρομέας, τα κινητά πτερύγια, σερβοκινητήρας των κινητών πτερυγίων, ο άξονας του στροβίλου, το οδηγό έδρανο, στεγανοποίηση άξονα (ανθρακοδαχτυλίδια).

2 Σταθερό τμήμα υδροστροβίλου

σταθερά πτερύγια και ο σταθερός δακτύλιος είναι φτιαγμένα από χάλυβα και σκοπό έχουν την οδήγηση της ροής προς τα κινητά πτερύγια.

σπειροειδές περίβλημα είναι φτιαγμένο από χαλύβδινο έλασμα

σταθερές σωληνώσεις βρίσκονται μέσα στο μπετόν του κτιρίου. Τέτοιοι σωλήνες είναι για αποστράγγιση διαρροής νερού από το κάλυμμα της κεφαλής, η αποστράγγιση του νερού σε μια αντλία διαρροής, σωληνώσεις για το σύστημα ψύξεως λαδιού του στροβίλου, σωληνώσεις για την παροχή αέρα για την λειτουργία των μονάδων σαν σύγχρονοι πυκνωτές.

3 Στρεφόμενο τμήμα υδροστροβίλου

δρομέας είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα.

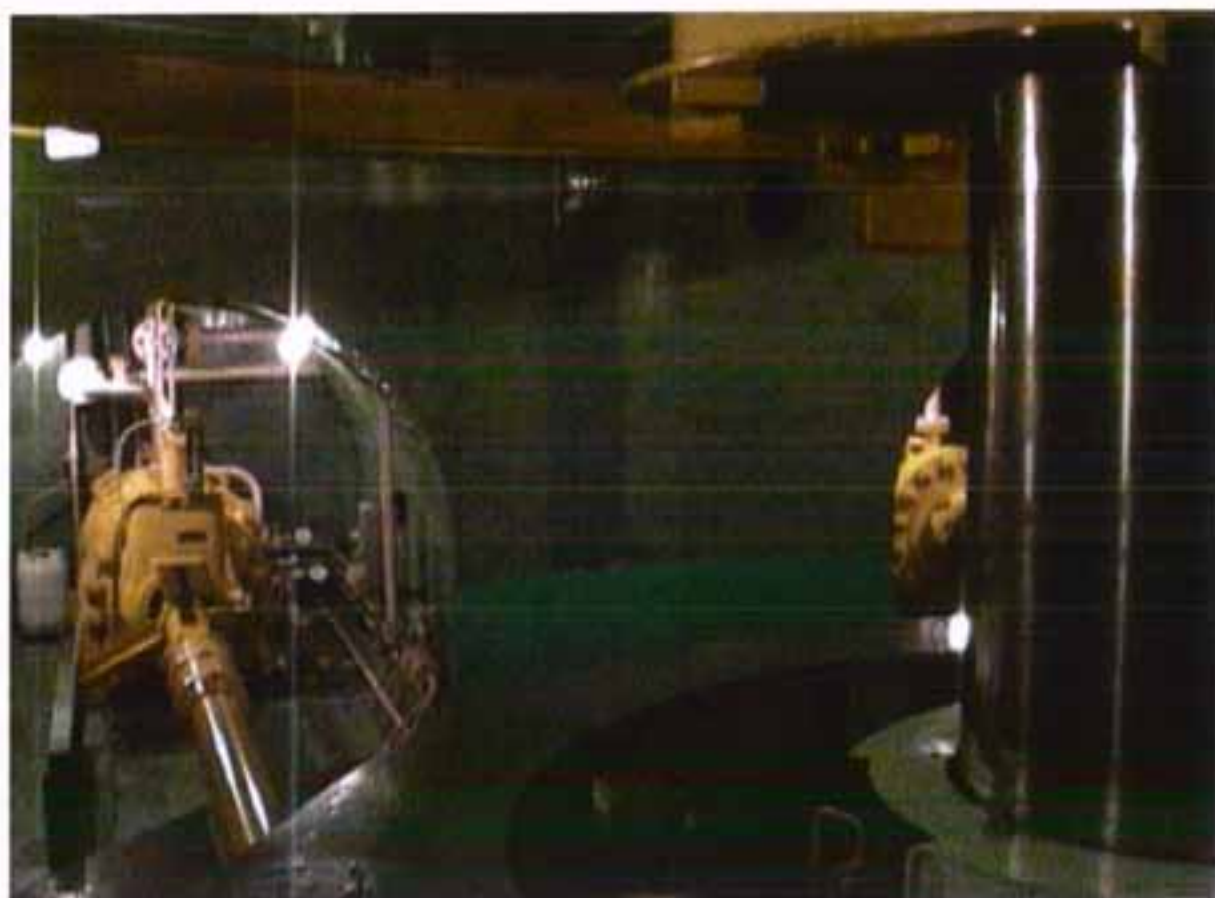
κινητά πτερύγια αποτελούν τον μηχανισμό ρύθμισης της ροής άρα και του φορτίου και λαμβάνει 24 πτερύγια με τους μοχλισμούς και τα δαχτυλίδια συγκράτησής τους.

ροβοκινητήρας κινητών πτερυγίων. Ο στρόβιλος είναι εφοδιασμένος με δύο ροβοκινητήρες διπλής δράσης για το άνοιγμα και το κλείσιμο των κινητών πτερυγίων του στροβίλου υπό όλες τις συνθήκες φόρτισης.

Άξονας της στροβίλου είναι κοίλος, κατασκευασμένος από χάλυβα. Η εξωτερική του διάμετρος είναι ίση με 1000 mm και η εσωτερική του με 550 mm.

Πηγό έδρανο (κουζινέτο) αποτελείται από το στήριγμα και το σκελετό του κουζινέτου και σφραγίζει την δεξαμενή λαδιού.

Στεγανοποίηση άξονα (ανθρακοδακτύλιοι) έχει σκοπό την στεγανοποίηση του άξονα του στροβίλου για την προστασία της γεννήτριας από τις διαρροές του νερού.



Σχ 4.5.3 ΑΞΟΝΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ-ΣΕΡΒΟΜΟΤΕΡ

4.4 Κύρια βοηθητικά εξαρτήματα υδροστροβίλου

Ρυθμιστής στροφών και πίνακας ACTUATOR

Επιμέρους τμήματα:

TRANSDUCER

Κύρια βαλβίδα διανομής

Μηχανισμός εκκινήσεως – κρατήσεως

Μηχανισμός εν κενό πορείας

Ρύθμιση ρυθμιστή σύμφωνα με το ύψος της διαθεσίμου πτώσεως

Αποκόπτης προστασίας υπερταχίσεων

Σύστημα αντλιών – αεροκώδωνα ρυθμιστή στροφών

Σύστημα συμπιεσμένου αέρα για το ρυθμιστή στροφών και την λειτουργία της μονάδας κινητήρα.

Σύστημα ψύξης

Μαγνητοηλεκτρική γεννήτρια

Περιγραφή ρυθμιστή στροφών και πίνακα ACTUATOR

Ο πίνακας του ρυθμιστή στροφών είναι ένα τμήμα του υδραυλικού ρυθμιστή, που ελέγχει ηλεκτρικά κυκλώματα ελέγχου. Ο πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κοινός κέντρος ελέγχου για παράλληλη λειτουργία περισσοτέρων στροβίλων.

Η βασική λειτουργία του πίνακα είναι να ελέγχει τη λειτουργία του στροβίλου, με την παραγωγή σημάτων από τις μικροαλλαγές των στροφών της μηχανής, δημιουργώντας νέα σήματα, τα οποία αθροίζονται με τα σήματα της αναδράσεως και ενισχύονται.

Ο πίνακας με τη συνεργασία και των άλλων εξαρτημάτων του ρυθμιστή μπορεί να εξασφαλίσει σταθερό έλεγχο λειτουργίας, τόσο σε καθένα στρόβιλο ξεχωριστά όσο και σε περισσότερους μαζί στις παρακάτω καταστάσεις λειτουργίας:

Λειτουργία σε εν κενό πορεία.

Λειτουργία με φορτίο, σε περίπτωση που η μονάδα δεν είναι διασυνδεδεμένη.

Λειτουργία με φορτίο, με μονάδα διασυνδεδεμένη στο σύστημα.

Αυτομείωση φορτίων.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
1) Ηλεκτρική παροχή	PS
2) Προστασία μονάδας	UP
3) Ρύθμιση ταχύτητας	SSO
4) Ενισχυτής λειτουργίας	OA
5) Αθροιστικός ενισχυτής	SA
6) Δευτερεύον σύστημα	FS
7) Όργανα I	IMI
8) Όργανα II	IMII
9) Μανομετρική πτώση	HP
10) Ηλεκτρονόμοι	RP
11) Ρύθμιση στροφών-φορτίου	S-L
12) Μορσετιέρα	
13) Μετασχηματιστής αυτόματης ρυθμίσεως τάσεως της PMG	
14) Αυτόματος διακόπτης	

ηλεκτρική παροχή (PS) στα διάφορα κυκλώματα περιλαμβάνει μετασχηματιστές, ρεοστάτες και σταθεροποιητές.

τιμήμα προστασίας μονάδας (UP) ελέγχει τις στροφές της μονάδας και περιέχει τις ηλεκτρικές επαφές στροφών.

τιμήμα ελέγχου της ταχύτητας (SS) της μονάδας περιλαμβάνει την συσκευή I ελέγχου ταχύτητας που είναι συνδεδεμένη στα κυκλώματα της PMG, τη συσκευή II ελέγχου ταχύτητας που είναι συνδεδεμένη με τα κυκλώματα των μετασχηματιστών τάσεων της μονάδας, ρευματολήψεις για την μέτρηση της τάσεως εξόδου των συσκευών I και II ελέγχου ταχύτητας και ενδεικτική λυχνία αυτόματης συμπτώσεως συχνοτήτων.

τιμήμα του ενισχυτή λειτουργίας (OA) που δίνει το τελικό σήμα ελέγχου.

αθροιστικός ενισχυτής (SA) ενισχύει το τελικό σήμα ελέγχου στην τιμή που χρειάζεται τον έλεγχο του TRASYCER

σύστημα FOLLOWER (FS) χρησιμοποιείται για τον αυτόματο έλεγχο των στροφών του φορτίου μέσω των αντίστοιχων κινητήρων που ελέγχονται με χειριστήρια με αυτόματη μεταφορά από τον κινητήρα ταχύτητας στον κινητήρα φορτίου κατά την αγωγή της μονάδας από λειτουργία χωρίς φορτίο σε λειτουργία με φορτίο.

σύστημα χρησιμοποιείται για ρύθμιση των στροφών ανάλογα με την μεταβολή της γιγνότητας του δικτύου.

σύστημα οργάνων (IM-I) περιλαμβάνει τα ενδεικτικά όργανα στροφών της μηχανής, πίνακα μέτρησης των πτερυγίων και της θέσεως του ορίου φορτίου

σύστημα των οργάνων (IM-II) περιλαμβάνει τα όργανα πίεσεως λαδιού στο ρυθμιστή.

σύστημα της υδραυλικής πτώσεως (HEAD) έχει σκοπό να δίνει σήματα για αυτόματη ρύθμιση ανάλογα με την πτώση.

ηλεκτρονόμοι (RP) χρησιμοποιούνται για την μεταγωγή της μονάδας από μια κατάσταση λειτουργίας σε μια άλλη.

Μηχανισμός ρύθμισης στροφών φορτίου (S-L) είναι τοποθετημένος στο πίσω μέρος πίνακα. Περιλαμβάνει τα ρυθμιστικά στροφών και φορτίου που το καθένα έχει έναν ητήρα και ένα SELSYN. Τα σήματα του τυλίγματος του δρομέα των SELSYN εγχουν τις στροφές ή το φορτίο της μονάδας.

4.1 Λειτουργία ρυθμιστή στροφών

Το λάδι με πίεση έρχεται στην βαλβίδα διανομής 4, στην βαλβίδα αυτή υπάρχει λήνας που στέλνει το λάδι μέσω της βάνας 21 λάδι των 41 atm, το λάδι περνάει από τα φίλτρα 20. Τα φίλτρα έχουν μεταγωγέα που λειτουργεί το ένα φίλτρο, έχουν σύστημα θοορισμού με λαμάκι που ξύνει τα πλέγματα, περνώντας το λάδι από τα φίλτρα έρχεται διάφραγμα 5 όπου εκεί η πίεση πέφτει από τις 40 atm στις 18-20 atm και στην συνέχεια έρχεται στον υδραυλικό ενισχυτή μέσω του μοχλού χειροκίνητο – αυτόματο. πίεσης το λάδι πηγαίνει στους Η/Μ κρατήσεως – εκκινήσεως 11, μέσω του Η/Μ 11 πηγαίνει στον Η/Μ του εν κενό λειτουργίας 12. Επίσης λάδι υψηλής πίεσης πηγαίνει στην βαλβίδα 3 που ονομάζεται πιλότος βαλβίδα. Το λάδι ανάλογα με την θέση της πιλότου βαλβίδας πηγαίνει στο πάνω μέρος του διαφορικού εμβόλου 4.1 της βαλβίδας διανομής.

Τροφοδότηση: Τα κυκλώματα του ρυθμιστή τροφοδοτούνται από τη ηντοηλεκτρική (PMG) που βρίσκεται στον άξονα της μονάδας. Η PMG τροφοδοτεί με τα κυκλώματα του ρυθμιστή στροφών από την στιγμή που οι στροφές της μηχανής εβουν στο 80 % των ονομαστικών στροφών.

Κυκλώματα στροφών: Ο SENSOR των στροφών είναι ένα κύκλωμα RESONANT με DEMULATOR IT που ανιχνεύει αποκλείσεις των στροφών από τις ονομαστικές. σήμα εξόδου του SENSOR μεταδίδεται στην συσκευή DEAD BAND. Η συσκευή AD BAND χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται ώστε να ανταποκρίνεται στις μικρές αγές της συχνότητας του συστήματος και έτσι μειώνεται η μηχανική φθορά.

Συσκευή συμπτώσεως συχνότητας: Η συσκευή αυτή έχει σκοπό να επιταχύνει τη δικασία του αυτόματου συγχρονισμού της μονάδας δηλαδή να φέρνει αυτόματα τις σφές της μηχανής και τη συχνότητα του δικτύου στην ίδια τιμή.

4.2 Βασικά εξαρτήματα και λειτουργία του πίνακα ACTUATOR

Λειτουργία TRANSDUCER (πηνίο)

Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία του TRANSPYGER είναι ο μοχλός να κεται στην θέση αυτόματο. Ο TRANSDUCER είναι ένα ενδιάμεσο εξάρτημα μεταξύ ηλεκτρικού και του μηχανικού τμήματος του ρυθμιστή. Ο κυκλικός μόνιμος μαγνήτης δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο δακτυλιοειδές διάκενο μεταξύ των πόλων. Στο κενο αυτό βρίσκεται και μπορεί να κινείται αξονικά το πηνίο 1.3. Κατά την κίνηση του οίου αυτού μεταβάλλεται η θέση και η τάση των ελατηρίων 1.2. Όταν το πηνίο είρεται μετακινείται προς τα πάνω ή κάτω ανάλογα με την ένταση και την πολικότητα ρεύματος διεγέρσεως.

κίνηση του πηνίου προκαλεί κίνηση στο διάφραγμα 1.5 το οποίο μεταβάλλεται ανάλογα την πίεση του λαδιού στις δύο πλευρές του πιστονιού 2.4. Η κίνηση του 2.3 έχει τέλεσμα την κίνηση του μεγάλου πιστονιού 2.4. Το ενδεικτικό όργανο 6 δείχνει την

αση του πηνίου. Η κίνηση του μεγάλου έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση του μοχλού και 2.7 και στην συνέχεια την μετακίνηση του εμβόλου 3.2 της πιλότου βαλβίδας.

Κύρια βαλβίδα διανομής

Η κύρια βαλβίδα διανομής 4 και η βαλβίδα οδηγός πιλότος 3 αποτελούν ένα σώμα. Λόγω της διαφοράς στις επιφάνειες του εμβόλου 3.2 υπάρχει πάντα πίεση λαδιού που προκαλεί ώθηση του εμβόλου ώστε να υπάρχει πάντοτε επαφή μεταξύ των στοιχείων στις φελλές 3.1 στον μοχλό 4.6 και σε όλους τους μοχλούς που δρουν την στιγμή εκείνη.

Το έμβολο της βαλβίδας 4.2 είναι διαφορετικό. Μια δύναμη προς τα επάνω κατά συνέπεια και σε ισορροπία με την δύναμη που εξασκείται στο έμβολο 4.1.

Μηχανισμός εκκινήσεως – κρατήσεως

Υπάρχει Η/Μ με υδραυλικό ενισχυτή δύο εμβόλων 11.2 και 11.3 τα οποία ενεργούν στον μηχανισμό ορίου φορτίου 14 μέσω του μοχλού 14.6. Ο Η/Μ διεγείρεται όταν φτάσει το άνοιγμα των πτερυγίων σε θέση εκκινήσεως μέσω του μηχανισμού ορίου φορτίου. Όταν ο Η/Μ το στέλεχος του εμβόλου μετατοπίζεται προς τα επάνω και η κύρια βαλβίδα διανομής μπορεί να κινηθεί για το άνοιγμα των πτερυγίων. Όταν ο Η/Μ αποδιεγερθεί υπάρχει κίνηση του στελέχους προς τα κάτω και περιστρέφει τον άξονα ορίου φορτίου για κλείσιμο των πτερυγίων.

Μηχανισμός εν κενό πορείας

Ο μηχανισμός εν κενό πορείας είναι ίδιας μορφής με τον εκκινήσεως-κρατήσεως.

Ο μηχανισμός έχει σκοπό να φέρει τα πτερύγια σε θέση εκκίνησης μόλις ο στρόβιλος περιστρέφεται το 30% των στροφών του και συντελεί στην ομαλή αύξηση των στροφών έως 1000 rpm/min χωρίς υπερτάχυνση και υπερπίεση.

Ρύθμιση του ρυθμιστή σύμφωνα με το ύψος της διαθέσιμου πτώσεως

Ο μηχανισμός για την ρύθμιση των στροφών σύμφωνα με το ύψος πτώσεως 17 αποτελείται από δύο εκκεντρικούς τροχούς 17.3 και 17.4 οι οποίοι είναι προσαρμοσμένοι στον άξονα του μηχανισμού του μειωτήρα στροφών ο οποίος παίρνει θέση ανάλογα με το ύψος πτώσης από τον κινητήρα 17.2 και χειροκίνητα με το 17.1.

Ο μηχανισμός αυτός έχει σκοπό την προστασία της μονάδας από υπερφόρτιση λόγω του ύψους πτώσης καθώς και την διόρθωση του ανοίγματος των πτερυγίων στην εν κενό πορεία σε περίπτωση διακυμάνσεως του ύψους πτώσεως

Μηχανισμός διακόπτης προστασίας υπερτάχυνσης

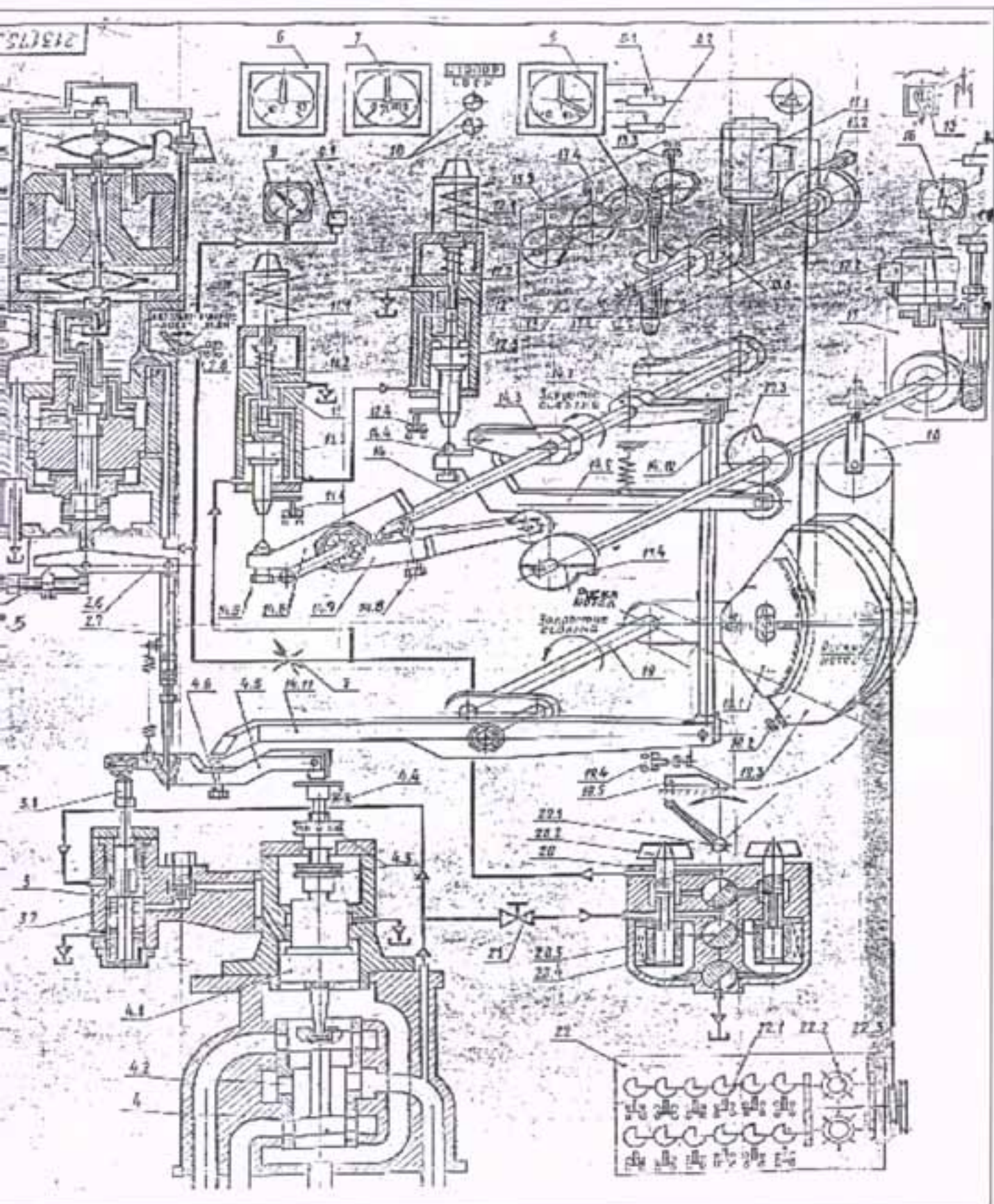
Προκαλεί την κράτηση της μονάδας μέσω της βαλβίδας σε περίπτωση αύξησης των στροφών πάνω από το 115%. Εάν δεν ανοίξουν οι επαφές του 4.4 και παραμείνουν κλειστές οι μονάδα τρυπάρι (βγαίνει εκτός λειτουργίας από κάποια ανωμαλία)



Σχ 4.6.2 Πίνακας ρυθμιστή στροφών



Σχ 4.6.2α Ρυθμιστής στροφών



Σχ 4.6.2β Ρυθμιστής στροφών

Σύστημα αντλιών - αεροκώδωνα ρυθμιστή στροφών

Ο σκοπός του συστήματος αντλιών - αεροκώδωνα είναι να παρέχει λάδι με πίεση σερβομοτέρ και στα πτερύγια του στροβίλου.

Ο αεροκώδωνας έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASME.

Αποτελείται από ένα κύλινδρο και δύο ημισφαίρια από λαμαρίνες συγκολλημένες μεταξύ τους. Επίσης διαθέτει και μια ανθρωποθυρίδα για τις διάφορες εργασίες συντήρησης.

Το σύστημα αποτελείται από τον αεροκώδωνα και τις αντλίες λαδιού που είναι τοποθετημένες πάνω στην δεξαμενή, που μαζί με όλα τα άλλα επιμέρους εξαρτήματα είναι δεδεδεμένα μεταξύ τους με σωληνώσεις υψηλής πίεσης.

1 Αρχή λειτουργίας:

Το σύστημα αντλιών - αεροκώδωνα είναι μια πηγή ισχύος για το σύστημα του ρυθμιστή στροφών. Ο αεροκώδωνας περιέχει την ποσότητα λαδιού που απαιτείται για τη ρύθμιση των πτερυγίων του στροβίλου. Ακόμη στον αεροκώδωνα υπάρχει πεπιεσμένος αέρας όπου είναι αποθηκευμένη η δυναμική ενέργεια. Το λάδι που χρησιμοποιείται είναι του τύπου στροβίλου.

Η πίεση και η ποσότητα του πεπιεσμένου αέρα παραμένει στα προκαθορισμένα όρια.

Όταν η πίεση πέσει τίθενται σε λειτουργία οι αντλίες για να αναπληρώσουν το λάδι στον αεροκώδωνα που καταναλώθηκε στη ρύθμιση και προκαλέσει την πτώση της πίεσης. Το λάδι που αντλείται προς τον αεροκώδωνα συμπιέζει τον αέρα και έτσι αποκαθιστά την αποθηκευμένη ενέργεια.

Μια ποσότητα αέρα χάνεται από τις συνδέσεις των σωληνώσεων και βανών και μια άλλη ποσότητα χάνεται μέσα στο λάδι. Η απώλεια του αέρα αναπληρώνεται από την λειτουργία του ρυθμιστή στάθμης.

Το λάδι μετά την λειτουργία που ακολουθεί, επιστρέφει στην δεξαμενή όπου τράβεται χωρίς πίεση, μέρος του αέρα που περιέχει φεύγει με το φυσιολογικό τρόπο και επιστρέφει με τις αντλίες επιστρέφει στον αεροκώδωνα. Η ποσότητα του λαδιού που υπάρχει στην δεξαμενή επαρκεί για την σωστή λειτουργία των αντλιών.

Η θερμότητα που δημιουργείται στο λάδι από την λειτουργία των αντλιών διαχέεται με την ακτινοβολία.

2 Απλήρωση αέρα στον αεροκώδωνα:

Εάν μειωθεί η ποσότητα αέρα στον αεροκώδωνα λόγω διαρροών, προκαλείται πτώση της στάθμης του λαδιού μέχρι να αποκατασταθεί η κανονική πίεση λειτουργίας. Όταν η στάθμη φτάσει στο προκαθορισμένο ύψος ο πλωτήρας του ρυθμιστή στάθμης κινείται και κλείνει την βαλβίδα εισόδου αέρα. Έτσι ο αέρας από τον αντίστοιχο αεροσυμπιεστή έρχεται στον αεροκώδωνα μέσω κάποιου φίλτρου. Όταν η στάθμη του λαδιού στον αεροκώδωνα πέσει, προκαλείται κλείσιμο της βαλβίδας εισόδου αέρα στον αεροκώδωνα και η είσοδος αέρα σταματά. Ο αέρας εισάγεται στον αεροκώδωνα για την αναπλήρωση των απωλειών μετά την λειτουργία της αντλίας.

Το σύστημα μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας όταν η μονάδα είναι σταματημένη, η δεξαμενή υδροληψίας είναι κλειστή, ο σπειροειδής θάλαμος έχει εκκενωθεί και τα πτερύγια του στροβίλου είναι κλειστά.

Σύστημα συμπιεσμένου αέρα για το ρυθμιστή στροφών και την λειτουργία της άδας σαν κινητήρας.

Σκοπός του συστήματος αυτού είναι να τροφοδοτεί τον αεροκώδωνα του ρυθμιστή στροφών με πίεση 40 kg/cm^2 και ύστερα από μια μείωση της πίεσεως στα 20 kg/cm^2 να τροφοδοτεί τις εγκαταστάσεις αέρος.

Το σύστημα αποτελείται από, δύο αεροσυμπιεστές, ένα αεριοφυλάκιο και δύο υδροπαγίδες.

Τρόπος λειτουργίας:

Ο αεροσυμπιεστής αναρροφά από το περιβάλλον αέρα και αφού φιλτράρεται συμπιέζεται στα 45 kg/cm^2 , κατά την διαδικασία της συμπίεσης ο αέρας ψύχεται και αφυγραίνεται και αφού περάσει από την υδροπαγίδα οδηγείται στο αεριοφυλάκιο. Ύστερα μέσω των παροχών ο αέρας οδηγείται στον αεροκώδωνα.



Σχ 4.8 ΑΕΡΟΚΟΔΩΝΑΣ

Σύστημα ψύξης

Το σύστημα ύδατος ψύξεως τροφοδοτείται, για κάθε μια μονάδα παραγωγής από αντίστοιχο αγωγό προσαγωγής της, διαμέτρου 6 m. Μέσω ενός σωλήνα διαμέτρου 273 mm οδηγείται σε φίλτρο κατακράτησης λάσπης με δύο επιστόμια καθαρισμού στον άνω μέρη αυτού. Ένα χειροκίνητο και ένα αυτόματο με ηλεκτρική διέγερση. Το ηλεκτρικό αυτόματο αρχικά έπαιρνε την εντολή να ανοίξει όταν τα δύο μανόμετρα εκατέρωθεν του φίλτρου έδειχναν μεγάλο βαθμό απόφραξης του. Το χειροκίνητο παρέχει την δυνατότητα

τακτική φροντίδα καθαρισμού του φίλτρου. Ο έλεγχος του βαθμού απόφραξης του τρου γίνεται με μανόμετρα στα τμήματα σωλήνα εκατέρωθεν αυτού. Για κανονική λειτουργία του φίλτρου η τιμή της πίεσης πρέπει να είναι περίπου 8 kg/cm^2 .

Το νερό μετά από την έξοδό του από το φίλτρο οδηγείται με σωλήνα και κλαδίζεται, αφενός προς την συλλέκτρια σωλήνα και αφετέρου προς τον ρυθμιστή βαλβίδα πίεσεως. Είναι μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσεως, του δικτύου σε μικρότερη τιμή, πνευματική διέγερση, ηλεκτρικό έλεγχο και έλεγχο σφάλματος μέσω μέτρησης της πης στην τιμή $3,5 \text{ kg/cm}^2$.

Το νερό μεταφέρεται έως το E.I 43,5 και οι σωληνώσεις σε αυτό το σημείο κλαδίζονται για την παροχή νερού σε τέσσερα ξεχωριστά κυκλώματα ψύξεως. Οι ληνώσεις εισέρχονται στο χώρο της γεννήτριας και των εδράνων με σκοπό να γγήσουν το νερό στα εξής σημεία:

- α) Στο ψυγείο αέρα του περιβάλλοντος χώρου των τυλιγμάτων της γεννήτριας
- β) Στα ψυγεία λαδιού του ωστικού εδράνου του στροβίλου
- γ) Στα ψυγεία λαδιού του άνω οδηγού εδράνου της γεννήτριας
- δ) Στους λαβυρίνθους στεγάνωσης του άξονα του στροβίλου.

ην παροχή προς τους λαβυρίνθους παρεμβάλλεται βαλβίδα με υδραυλική διέγερση και κτρικό έλεγχο που επιτρέπει τη διέλευση νερού για ψύξη μόνο στην περίπτωση που η άδα λειτουργεί σαν σύγχρονος πυκνωτής και όχι σαν γεννήτρια.

Από το δίκτυο ψύξεως του αέρα της γεννήτριας αναχωρούν παροχές προς την λία air blower και το ψυγείο λαδιού που λιπαίνει το κάτω ακτινικό έδρανο του άξονα στροβίλου. Η αντλία air blower χρησιμοποιείται για την διόρθωση της στάθμης του ού του αγωγού φυγής όταν έχει προηγηθεί υποβιβασμός στάθμης.

σωληνώσεις εισερχόμενες στο περίβλημα σχηματίζουν αν περίπτωση κυκλώματα για ψύξη των μονάδων.

Στην έξοδό τους υπάρχουν τόσο μανόμετρα όσο και ροόμετρα για τον έλεγχο της πτης λειτουργίας του συστήματος. Καταλήγουν σε κατακόρυφη συλλέκτρια σωλήνωση οπία και αποχετεύει το νερό. Η κατακόρυφη θέση της σωλήνας απαγορεύει την ένωση των δικτύων όταν η μονάδα δεν λειτουργεί. Στο επάνω μέρος της υπάρχει ογός και επιστόμιο για εκκενώσεις της. Τέλος το νερό μεταφέρεται με αποχετευτικό τυο εκτός εργοστασίου.

0 Μαγνητοηλεκτρική γεννήτρια

Είναι μια τριφασική σύγχρονη γεννήτρια με αυτοδιέγερση από μόνιμους μαγνήτες. ει σχεδιαστεί για την τροφοδότηση του ηλεκτροϋδραυλικού ρυθμιστή στροφών του οβίλου και του ηλεκτρονόμου που ελέγχει με τις επαφές του τις στροφές ανά λεπτό της νήτριας. Ο ρυθμιστής στροφών τροφοδοτείται από δυο φάσεις της διέγερσης ενώ η τη τροφοδοτεί τον ηλεκτρονόμο στροφών της γεννήτριας.

1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΟΣ

1.1 Αυτόματο ξεκίνημα μονάδας

να γίνει το αυτόματο ξεκίνημα της μονάδας θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω ύποθέσεις:

μονάδα να βρίσκεται σε αυτόματο έλεγχο
πόρτα της υδροληψίας να είναι ανοιχτή
πόρτα του αγωγού φυγής να είναι ανοιχτή.
α κινητά πτερύγια να είναι τελείως κλειστά
ρυθμιστής στροφών να βρίσκεται σε αυτόματο έλεγχο
πίεση του λαδιού του ρυθμιστή στροφών να είναι κανονική
ο πηνίο εκκίνησης να είναι εκτός λειτουργίας
οριακή επαφή του ορίου ανοίγματος των κινητών πτερυγίων
είναι κλειστή
ο ρελέ σταματήματος να είναι επανενταγμένο να λειτουργήσει
ο ρελέ πτώσεων να είναι επανενταγμένο να λειτουργήσει
α φρένα να βρίσκονται εκτός λειτουργίας και απελευθερωμένα
στάθμη του λαδιού του σύνθετου εδράνου να είναι κανονική
α μην υπάρχει πίεση αέρα ανάμεσα στο σύστημα στεγανοποίησης άξονα
ο μηχανικό κλείδωμα των κινητών πτερυγίων να είναι απελευθερωμένο
διακόπτης της μονάδας 150kv να είναι ανοιχτός
πίεση του αέρα φρένων να είναι κανονική
α μην υπάρχει πίεση αέρα στο σύστημα φρένων μετά την βαλβίδα ενεργοποίησης
ρυθμιστής τάσης να είναι σε αυτόματο έλεγχο και έτοιμος να λειτουργήσει
ρυθμιστής τάσης να βρίσκεται σε ρύθμιση <<ονομαστικής τάσης>>
α είναι διαθέσιμες οι βοηθητικές τάσεις συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος
διακόπτης ελέγχου των παρακάτω μηχανημάτων πρέπει να είναι σε αυτόματη θέση
αεροσυμπιεστής ρυθμιστή στροφών
αεροσυμπιεστής σύγχρονου πυκνωτή
α αντλίες ρυθμιστή στροφών
α αντλία διαρροών λαδιού.
ν περίπτωση που δεν πληρούνται οι συνθήκες εκκινήσεως έχουμε σήμανση στον πίνακα
γχο και είναι δυνατή η εύρεση της συνθήκης που δεν ικανοποιείται.
ν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις εκκίνησης τότε το λαμπάκι με την ένδειξη η <<μονάδα
α έτοιμη να ξεκινήσει>> είναι αναμμένο, οπότε μπορεί να ξεκινήσει γυρνώντας τον
λογικό διακόπτη στην θέση start.
νώντας τον διακόπτη στην θέση start συμβαίνουν τα παρακάτω:
νοίγει η βαλβίδα του νερού κύριας ψύξης
νοίγει η βαλβίδα νερού ψύξης των ανθρακοδαχτυλίων
ίθεται σε λειτουργία η αντλία υψηλής πίεσης του ωστικού εδράνου
εκινάει την λειτουργία της η αντλία λίπανσης του εδράνου του στροβίλου
πελευθερώνεται η αυτόματη διάταξη κλειδώματος των
ητών πτερυγίων
εκινάει η ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος
νάβει στον πίνακα ελέγχου η ένδειξη <<ξεκίνημα μονάδας>>
εκινάει ο έλεγχος της διαδικασίας εκκίνησης
ην συνέχεια γίνεται έλεγχος αν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:
πάρχει ροή στο σύστημα λίπανσης του εδράνου του στροβίλου
πίεση στο σύστημα υψηλής πίεσης του ωστικού εδράνου είναι κανονική
πίεση του λαδιού του ρυθμιστή στροφών είναι κανονική

βαλβίδα του νερού ψύξης έχει ανοίξει

αυτόματη διάταξη των κινητών πτερυγίων δεν είναι μπλοκαρισμένη

Αφού πληρούνται και οι παραπάνω συνθήκες, τότε ενεργοποιείται το ρελέ πηνήματος IXC του ρυθμιστή στροφών και το όριο ανοίγματος των πτερυγίων είναι στο 90%. Παράλληλα δίνεται σήμα για το άνοιγμα των πτερυγίων, οπότε αυτά ανοίγουν στο 90% του ανοίγματός τους.

Ο στρόβιλος αρχίζει να περιστρέφεται και στο 30% των ονομαστικών του στροφών, το όριο ανοίγματος των πτερυγίων μειώνεται στο 17%.

Όταν ο στρόβιλος φτάσει το 85% στροφών του ο ρυθμιστής στροφών περνάει σε αυτόματο γρήγορο και

η τάση της γεννήτριας μόνιμου μαγνητισμού PMG εφαρμόζεται στα κυκλώματα κεντρικής τροφοδοσίας της ταχύτητας περιστροφής

Κλείνει ο διακόπτης διέγερσης οπότε εφαρμόζεται το πεδίο στην γεννήτρια και αρχίζει η λειτουργία του συστήματος διέγερσης (ρυθμιστής τάσης).

Στο 98% των ονομαστικών του στροφών η αντλία υψηλής πίεσης του ωστικού εδράνου σταματάει και η λίπανση στο έδρανο γίνεται μέσω της περιστροφής.

Όταν η τάση της γεννήτριας ξεπεράσει το 90% της ονομαστικής τάσης, τότε η μονάδα είναι έτοιμη να συγχρονιστεί στο δίκτυο.

Ο ρυθμιστής βάζει σε λειτουργία τον αυτόματο συγχρονιστή και όταν ικανοποιηθούν όλες οι συνθήκες συγχρονισμού κλείνει αυτόματα ο διακόπτης της μονάδας.

Μετά την παρακάτω διαδικασία η μονάδα είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο και μπορεί να παράγει ισχύ.

1.2 Αυτόματο σταμάτημα μονάδας

Η διαδικασία αυτόματου σταματήματος της μονάδας αρχίζει όταν δώσουμε εντολή στον αντίστοιχο επιλογικό διακόπτη στην αίθουσα ελέγχου.

Τα ακόλουθα σταμάτημα της μονάδας συμβαίνουν τα παρακάτω:

- -ανάβει η ένδειξη <<σταμάτημα μονάδας>>
- -ξεκινάει η αντλία λαδιού υψηλής πίεσης
- -ξεκινάει η αποφόρτιση άεργου ισχύος

Όταν η πίεση στο ωστικό έδρανο είναι κανονική τότε ξεκινάει η αποφόρτιση ενεργούς ισχύος της μονάδας και η χρονική επίβλεψη σταματήματος της μονάδας.

Όταν πλέον ελέγχεται ο χρόνος κλεισίματος των κινητών πτερυγίων ο οποίος αν ξεπεραστεί γίνεται επείγουσα κράτηση της μονάδας με παράλληλη πτώση της θύρας υδροληψίας.

Όταν η ενεργός ισχύς της μονάδας γίνει μηδέν, τότε ανοίγουν αυτόματα ο διακόπτης μονάδας και της διέγερσης.

Όταν κλειστά τα πτερύγια η στροφές της μονάδας αρχίζουν να πέφτουν και όταν αυτές πέσουν στο 30% των ονομαστικών στροφών μπαίνουν αυτόματα τα φρένα της γεννήτριας.

Όταν η μονάδα σταματήσει τότε τα φρένα απενεργοποιούνται και βγαίνει εκτός λειτουργίας ο παρακάτω εξοπλισμός:

- -η αντλία λίπανσης οδηγού εδράνου του στρόβιλου
- -η αντλία υψηλής λίπανσης λαδιού ωστικού εδράνου
- -η κύρια βαλβίδα ψύξης

Για να βγει εκτός λειτουργίας ο παραπάνω εξοπλισμός έχει προηγηθεί έλεγχος για τις παρακάτω περιπτώσεις:

- -αν έχουν κλείσει τα κινητά πτερύγια

- -αν ο διακόπτης της μονάδας 150kV είναι ανοιχτός
- -αν η διέγερση είναι εκτός λειτουργίας.

αν σταματήσουν οι δύο παραπάνω αντλίες τότε σταματάει η ψύξη των ρακοδαχτυλίων και σταματάει η επίβλεψη του χρόνου εκκινήσεως. Τέλος μπαίνουν ως λειτουργίας και η αντιστάσεις θέρμανσης της γεννήτριας. Με αυτό τον τρόπο ειώνει το αυτόματο σταμάτημα της μονάδας.

1.3 Σφάλματα – πτώσης μονάδας

Τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την λειτουργία της μονάδας διακρίνονται σε ά που δίνουν εντολές για επείγουσα κράτηση και σε αυτά που οδηγούν την μονάδα σε ενό πορεία (δουλεύει σε ονομαστικές στροφές με ανοιχτό τον διακόπτη μονάδας και χωρίς η).

Στην πρώτη κατηγορία διακρίνουμε τις τρεις παρακάτω περιπτώσεις :

Ηλεκτρικά σφάλματα:

Όταν παρουσιαστεί ένα ηλεκτρικό σφάλμα ή γίνει χρήση του μπουτόν επείγουσας πτώσης ενεργοποιείται το ρελέ πτώσης 86 G .

Το έχει σαν συνέπεια το άνοιγμα του διακόπτη της μονάδας 180 KV και του διακόπτη της διέγερσης. Παράλληλα ενεργοποιούνται τα ρελέ για κανονικό σταμάτημα της μονάδας. Η διαδικασία κράτησης είναι ίδια περίπου με το κανονικό σταμάτημα της μονάδας.

Μηχανικά σφάλματα:

Όταν παρουσιαστεί ένα μηχανικό σφάλμα τότε ενεργοποιείται το ρελέ πτώσεως 86 M το οποίο ενεργοποιεί ένα κανονικό σταμάτημα της μονάδας. Η μόνη διαφορά είναι ότι δεν μειώνεται η πίεση στο σύστημα λίπανσης του ωστικού εδράνου.

Υδραυλικό σφάλμα:

Όταν παρουσιαστεί ένα υδραυλικό σφάλμα τότε ενεργοποιείται το ρελέ πτώσης 86 H έχουμε την ίδια διαδικασία με την περίπτωση ηλεκτρικού σφάλματος με την μόνη διαφοροποίηση ότι επιπρόσθετα κλείνει και η θύρα υδροληψίας.

Υπερτάχυνση μονάδας:

Εάν η ταχύτητα της μονάδας ξεπεράσει το 115% και η κύρια βαλβίδα του ρυθμιστή στροφών δεν έχει κλείσει τότε έχουμε άμεση πτώση του διακόπτη της μονάδας 150KV και του διακόπτη της διέγερσης. Παράλληλα δίνεται εντολή για το κλείσιμο των κινητών πτερυγίων. Επιπλέον ενεργοποιείται το ρελέ πτώσεως 86M και ξεκινάει ο παρατηρητής κλεισίματος της κύριας βαλβίδας του ρυθμιστή στροφών. Εάν το όριο του χρόνου κλεισίματος ενεργοποιείται το πηνίο της βαλβίδας 20 TEC η οποία δίνει εντολή κλεισίματος των κινητά πτερύγια.

Για 165% υπερτάχυνση υπάρχουν δύο διατάξεις, μία ηλεκτρική και μια μηχανική. Οι δύο διατάξεις αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα το κλείσιμο των κινητών πτερυγίων, η ηλεκτρική μέσω ενεργοποιήσεως του πηνίου της βαλβίδας 20TEC και η μηχανική υδραυλικά στην βαλβίδα 20TEC. Παράλληλα δίνεται άμεση πτώση του διακόπτη της μονάδας 150KV και του διακόπτη της διέγερσης και άμεσα ενεργοποιείται το ρελέ πτώσεως 86M. Εάν ο ρυθμιστής στροφών δεν είναι ικανός να κλείσει τα κινητά πτερύγια σε 20tec και είναι ενεργοποιημένη η υπερτάχυνση 165% τότε επιπλέον ενεργοποιείται το ρελέ πτώσης 86 H οπότε κλείνει και η θύρα υδροληψίας.

Στην δεύτερη κατηγορία (πτώση χωρίς σταμάτημα της μονάδας) διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες:

Σφάλματα με άνοιγμα του διακόπτη μονάδας 150KV και αποδιέγερσης.

Όταν παρουσιαστεί ένα σφάλμα το οποίο μπορεί να εξαλειφθεί με άνοιγμα του διακόπτη μονάδας 150KV και αποδιέγερσης τότε ενεργοποιείται το ρελέ πτώσεως 94G. Το ρελέ 94G έχει ως αποτέλεσμα το άνοιγμα του διακόπτη μονάδας και διέγερσης. Όταν η αιτία του σφάλματος εξαφανιστεί τότε είναι δυνατή η επανάταξη του ρελέ 94G και αν δεν υπάρχει άλλο σφάλμα στην μονάδα, τότε αυτή μπορεί να μπει σε διαδικασία συγχρονισμού και να μπει στο δίκτυο.

Σφάλματα με άνοιγμα του διακόπτη μονάδας 150KV

Όταν μια <<προστασία απόστασης>>εμφανιστεί (συνήθως πρόκειται για υπερτάσεις κεραυνούς στο δίκτυο μεταφοράς) τότε ενεργοποιείται το ρελέ πτώσης 94L το οποίο προκαλεί μόνο άνοιγμα του διακόπτη της μονάδας 150KV.

Όταν η αιτία του σφάλματος εξαφανιστεί τότε είναι δυνατή η επανάταξη του ρελέ 94L και αν δεν υπάρχει άλλο σφάλμα στην μονάδα, τότε αυτή μπορεί να μπει σε διαδικασία συγχρονισμού και να μπει στο δίκτυο.

1.4 Συγχρονισμός μονάδας – δικτύου

Συνθήκες:

- 1) Να υπάρχει συμφωνία τάσης μεταξύ μονάδας – δικτύου.
- 2) Να υπάρχει συμφωνία συχνοτήτων μεταξύ μονάδας – δικτύου.
- 3) Η γωνία διαφοράς φάσης να είναι εντός κάποιων ορίων.

2 Πλεονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων

Οι υδατοπτώσεις είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

και τα υδροηλεκτρικά έργα δεν έχουν καυσαέρια και έτσι δεν μολύνουν το περιβάλλον

και με την κατασκευή τους δημιουργούνται αρδευτικά κανάλια.

Το κόστος συντήρησης είναι μικρό

και οι υδροστρόβιλοι είναι αξιόπιστες μηχανές χωρίς να χρειάζεται συνέχεια συντήρηση, άρα πολύ μικρό προσωπικό.

Κατά την κατασκευή τους κατασκευάζονται διάφορα έργα υποδομής όπως γέφυρες, αρδευτικά κ.λπ.

Η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη από 30 έως 50 χρόνια.

Επιπλέον, λειτουργούν πολύ γρήγορα σε λειτουργία και συνδέονται αμέσως στο δίκτυο

3 Μειονεκτήματα υδροηλεκτρικών έργων

Η μελέτη κατασκευής τους είναι χρονοβόρα, όπως και ο χρόνος κατασκευής τους είναι πολύ μεγάλος.

Το κόστος κατασκευής τους είναι πάρα πολύ μεγάλο

και πρέπει να κατασκευάζονται σε περιοχές με συχνές υδατοπτώσεις και για αυτόν τον λόγο η κατασκευή τους μπορεί να γίνει σε μακρινές περιοχές με αποτέλεσμα να γίνονται επιπλέον έργα μεταφοράς τα οποία επιβαρύνουν τον προϋπολογισμό του έργου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΔΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΔΡΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ

Υδροστρόβιλοι δράσεως (Pelton)

Ο υδροστρόβιλος δράσεως χρησιμοποιείται για ύψη πτώσεως $>300\text{m}$, συνίσταται δε από καθοδηγήτρια συσκευή, που αποτελείται από ένα ή περισσότερα αμετακίνητα ακροφύσια και από έναν περιστρεφόμενο κυκλικό δρομέα, ο οποίος είναι ένας δίσκος που περιστρέφεται στην περίμετρό του πτερύγια. Η δέσμη του νερού, που διέρχεται από το ακροφύσιο, εγκαταλείπει αυτό με ατμοσφαιρική πίεση. Έτσι ολόκληρη η ποσότητα ενέργειας του νερού, όταν το νερό βγαίνει από τα ακροφύσια αυτά, έχει μεταβληθεί σε κινητική ενέργεια. Η δέσμη του νερού, βγαίνει από το ακροφύσιο, προσκρούει κεντρομετρικά στα πτερύγια του δρομέα, ο οποίος έτσι περιστρέφεται, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια, που μεταδίδεται στον άξονα περιστροφής. Ένα μέρος της κινητικής ενέργειας χάνεται λόγω τριβών και ένα άλλο μένει στο νερό. Ο αριθμός των ακροφυσίων είναι συνήθως 1-2 όταν ο άξονας του δρομέα είναι οριζόντιος και 2-4 όταν ο άξονας είναι κατακόρυφος. Η οπή του ακροφυσίου αυξομειώνεται με την βοήθεια βελόνης, έτσι ώστε να ρυθμίζεται η παροχή. Ο υδροστρόβιλος Pelton τοποθετείται σε σχετικό μικρό ύψος πάνω από την κατάντη στάθμη (οπότε χάνεται μεγάλο μέρος του διαθέσιμου ύψους πτώσεως), γιατί δεν επιτρέπεται να έχει τα πτερύγια του βυθισμένα μέσα στο νερό. Χοάνη φυγής δεν χρησιμοποιείται.

1.1 Χαρακτηριστικά του Υδροστρόβιλου δράσεως.

Το ολικό ύψος ενέργειας της υδατοπτώσεως που αξιοποιείται είναι η διαφορά υψομέτρου μεταξύ της δεξαμενής τροφοδοσίας και της κάτω στάθμης, δηλαδή $H+Z$.

Ο υδροστρόβιλος δράσεως, επειδή η πίεση σε οποιοδήποτε σημείο του δρομέα είναι μηδενική, καθώς και στην δέσμη νερού που εξέρχεται, είναι ατμοσφαιρική, το ολικό ύψος είναι H (στατικό ύψος). Πρακτικά αυτός ο τύπος υδροστρόβιλων δεν πρέπει να τοποθετείται πολύ κοντά στην κάτω στάθμη, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να βρεθεί τμήμα του δρομέα μέσα στο νερό σε περίπτωση ανόδου της κάτω στάθμης του νερού. Συνήθως η απόδοση είναι 2-3 μέτρα. Το καθαρό νερό ενέργειας του υδροστρόβιλου είναι το στατικό ύψος H μν το ύψος απωλειών λόγω τριβών μέσα στο σωλήνα υδατοπτώσεως. Το ύψος ενέργειας που αξιοποιείται είναι:

$$H_{\text{αξιοποιείται}} = H - \frac{V^2}{2g} \quad (5.1)$$

όπου H είναι και το καθαρό ύψος ενεργείας, που καταναλώνεται κατά την εργασία.

Απώλειες ενέργειας:

Απώλειες ενέργειας στο ακροφύσιο

Απώλειες λόγω τριβής στα πτερύγια του δρομέα

Κινητική ενέργεια η οποία περιέχεται στο νερό όταν εξέρχεται από τα πτερύγια

Απώλειες στα πτερύγια

Ενέργεια η οποία μεταδίδεται στα πτερύγια

Πέχουμε ότι:

$$H_{\text{αξιοποιείται}} = \left(\frac{1}{c_v} - 1\right) \frac{V_1^2}{2g} + K \frac{U_2^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} + h' \quad (5.2)$$

όπου V_1 = η ταχύτητα του νερού στο ακροφύσιο

U_2 = η σχετική ταχύτητα

$V_2 =$ η απόλυτη ταχύτητα του νερού που απέρχεται από τα πτερύγια

$C_v =$ ο συντελεστής ταχύτητας του ακροφυσίου (συνήθως 0,98)

μεγαλύτερο μέρος της μηχανικής ενέργειας, η οποία μεταδίδεται στα πτερύγια (h'), αβιβάζεται στον άξονα περιστροφής του υδροστροβίλου, ένα μέρος όμως αυτού αναλώνεται για την υπερνίκηση των μηχανικών τριβών στα έδρανα, καθώς και λόγω ιστάσεως του αέρα κατά την περιστροφή του δρομέα.

Εξίσωση με βάση την οποία μπορεί να υπολογιστεί η μεταβιβαζόμενη στροφορμή και η δύναμη που απορροφάται από τα ακροφύσια δέσμης του νερού στον δρομέα είναι:

$$T = Q \cdot r (U_1 - V_2 \cdot \cos \alpha_2) \quad (5.3)$$

που U_1 είναι η σχετική ταχύτητα της δέσμης του νερού σε σχέση με τον δρομέα.

$$U_2 = U_1 - u \quad (5.4)$$

η ταχύτητα V_1 είναι η απόλυτη ταχύτητα της δέσμης του νερού, η δε ταχύτητα u είναι η περιφερειακή ταχύτητα του δρομέα. Από το τρίγωνο εξόδου έχουμε:

$$U_2 \cdot \cos \alpha_2 = U_1 \cdot \cos \beta_2 \quad (5.5)$$

Από την εξίσωση της στροφορμής γίνεται:

$$T = p \cdot Q \cdot r (V_1 - u) - U_2 \cdot \cos \beta_2 \quad (5.6)$$

$$\text{ισχύς είναι: } P = T \cdot \omega \quad (5.7)$$

Από τον νόμο $u = \omega \cdot r$ έχουμε

$$P = T \cdot \omega = p \cdot Q \cdot u \{ (V_1 - u) - U_2 \cdot \cos \beta_2 \} \quad (5.8)$$

λόγω της (4) έχουμε:

$$P = p \cdot Q \cdot u \{ (V_1 - u) \cdot (1 - \cos \beta_2) \} \quad (5.9)$$

στην περίπτωση που υπολογίζονται οι απώλειες στα πτερύγια τότε η εξίσωση (4) γίνεται:

$$T = K (V_1 - u) \quad (5.10)$$

που ο συντελεστής K είναι κατά προσέγγιση 0,9.

Από την εξίσωση ισχύος (9) γράφεται

$$P = p \cdot Q \cdot u (V_1 - u) \cdot (1 - K \cdot \cos \beta_2) \quad (5.11)$$

Από την παραπάνω σχέση παρατηρούμε ότι, η ισχύς είναι μηδενική όταν η ταχύτητα περιστροφής $u=0$, δηλαδή ο στροβίλος είναι σταματημένος, και όταν $u=V_1$, δηλαδή η ταχύτητα περιστροφής είναι η ίδια με την ταχύτητα της δέσμης νερού. Επίσης παρατηρούμε ότι, όταν Q, p και $K \cdot \cos \beta_2$ είναι σταθερά, η σχέση μεταξύ ισχύος P και ταχύτητας περιστροφής u είναι παραβολική

$$P = p \cdot Q \cdot u (V_1 - u) \cdot (1 - K \cdot \cos \beta_2) \quad (5.12)$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να μεγιστοποιηθεί για να προσδιοριστεί ποιά θα είναι η ταχύτητα που αντιστοιχεί στον μέγιστο βαθμό αποδόσεως:

$$\frac{dP}{du} = p \cdot Q \cdot (V_1 - 2u) = 0 \quad (5.13)$$

συνεπώς $u = V_1/2$ που δείχνει ότι, η ταχύτητα του δρομέα για τον μέγιστο βαθμό αποδόσεως είναι ίση με το μισό της ταχύτητας της δέσμης του νερού.

μέγιστη ισχύς δίνεται:

$$\max = p \cdot Q \cdot \left(\frac{v_1^2}{4}\right) \cdot (1 - K \cdot \cos \beta_2) \quad (5.14)$$

όταν η γωνία του πτερυγίου είναι 180° τότε έχουμε ότι

$$\max = p \cdot Q \cdot \left(\frac{v_1^2}{4}\right) = \gamma \cdot Q \cdot \left(\frac{v_1^2}{2g}\right) \quad (5.15)$$

τα παραπάνω εξίσωση μας δίνει την ισχύ μιας δέσμης νερού. Έτσι συνάγεται το συμπέρασμα θεωρητικά η ισχύς της δέσμης του νερού μεταβιβάζεται στον περιστρεφόμενο στρόβιλο, αδη έχουμε απόδοση 100% όταν:

ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι το μισό της ταχύτητας της δέσμης του νερού γωνία του πτερυγίου είναι 180° .

την πράξη όμως η απόδοση του στροβίλου είναι περίπου 90% γιατί η γωνία του πτερυγίου είναι 165 μοίρες και η ταχύτητα περιστροφής είναι 44% - 48% της ταχύτητας της δέσμης του νερού:

$$u = 0,44 \cdot v_1 \text{ ως } u = 0,48 \cdot v_1 \quad (5.16)$$

$$u = \phi \cdot v_1 = \phi \sqrt{2g \cdot H} \quad (5.17)$$

ο ϕ ορίζεται η σχετική ταχύτητα του στροβίλου.

η υδραυλική απόδοση του στροβίλου Pelton είναι:

$$e_t \cdot e_m = \frac{\text{Ισχύς που δίνει ή ατρακτός του τροχού}}{\text{Ισχύς που μεταβιβάζεται απο το νερό στον τροχό}} \quad (5.18)$$

ο e_t είναι η υδραυλική απόδοση του στροβίλου

$$e_t = \frac{(v_1 - u) \cdot (1 - K \cdot \cos \beta_2) u}{g \cdot H} \quad (5.19)$$

ο e_m είναι η μηχανική απόδοση του στροβίλου

$$e_m = \frac{\text{Ισχύς που παίρνει απο την άτρακτο}}{\text{Ισχύς εισόδου στην άτρακτο}}$$

παρατηρείται ότι η υδραυλική απόδοση μπορεί επίσης να έρθει και με άλλη μορφή, γιατί αντικαταστώνται με τις εκφράσεις

$$= C_v \sqrt{2g \cdot H} \quad \text{και} \quad u = \phi \sqrt{2g \cdot H} \quad (5.20)$$

επειδή την σχέση:

$$e_t = 2(C_u \cdot \phi - \phi^2) \cdot (1 - K \cdot \cos \beta_2) \quad (5.21)$$

η οποία δείχνει ότι η υδραυλική απόδοση είναι ανεξάρτητη από το ύψος ενέργειας h και την διάμετρο του τροχού D .

Η ειδική ταχύτητα (ειδικός αριθμός στροφών) του στροβίλου ορίζεται σαν:

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{h^{5/4}} \quad (5.22)$$

$$s = 129,3 \sqrt{e * C_u} * \frac{\phi}{D/d} \quad (5.23)$$

στην παραπάνω σχέση (σε μονάδες ft-lb-sec) προκύπτει ότι ο ειδικός όμιος στροφών εξαρτιέται από τον λόγο D/d, γιατί οι άλλοι άμετροι ϕ, C_u και e δεν μεταβάλλονται πολύ.

Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως (Francis, Kaplan, American)

Ο υδροστρόβιλος αντιδράσεως ανάλογα με την διεύθυνση ροής μέσα στους δρομείς τους κλίνονται σε:

αξονικής ροής (Francis)

αξονικής ροής (Kaplan)

αξονικής ροής (American)

Στους υδροστρόβιλους **Francis** το νερό που εισέρχεται στον κοχλιοειδές κέλυφος κλίνεται δια μέσου σειράς πτερυγίων που ρυθμίζονται και φτάνει τον δακτυλοειδές δρομέα, ο οποίος έχει αμετακίνητα πτερύγια. Το νερό που διέρχεται έτσι, καταλήγει στο να αλλάξει διεύθυνση κατά 90 μοίρες.

Ο υδροστρόβιλος **Francis** χρησιμοποιείται μέχρι 300m, και τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι ο αγωγός προσαγωγής του νερού και ο δακτυλοειδής δρομέας ο οποίος απορροφάει την ενέργεια του νερού που εισρέει μεταβιβάζοντάς την στον άξονα.

Ο αγωγός προσαγωγής απ'τον οποίο διέρχεται το νερό έχει μια ακίνητη στεφάνη που κλίνει τον δρομέα και η οποία έχει πτερύγια που μπορούν να περιστρέφονται, έτσι ώστε να ρυθμίζεται η παροχή και συνεπώς η ισχύς του στροβίλου. Η είσοδος του νερού γίνεται κατά την διεύθυνση της ακτίνας από έξω προς τα μέσα. Το νερό αφού περάσει μέσα στον δρομέα εξέρχεται παράλληλα προς τον άξονα του στροβίλου δια μέσω του σωλήνα απορροφήσεως μέσα στον οποίο επιβραδύνεται λόγω της ομαλής αυξήσεως της διατομής του σωλήνα. Το μέγιστο ύψος της σωλήνας περιορίζεται σε 2 - 3m λόγω του κινδύνου του κλονισμού της σπηλαιώσεως.

Ο υδροστρόβιλος **Kaplan** είναι τύπου έλικα, χρησιμοποιείται για πτώσεις ως 20m, έχει ρυθμιζόμενα πτερύγια σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το ύψος της υδατοπτώσεως κλίνεται να αλλάξει.

Η κατασκευή του αγωγού προσαγωγής και εξαγωγής του υδροστρόβιλου **Kaplan** είναι ίδιος με του υδροστρόβιλου **Francis**. Η εισαγωγή όμως του νερού στον δρομέα γίνεται κατά την διεύθυνση του άξονα (συνήθως κατακόρυφη) του στροβίλου και κατά την ίδια διεύθυνση με την οποία πραγματοποιείται η απαγωγή του νερού.

Ο δρομέας του διαφέρει από τον δρομέα του **Francis** γιατί μοιάζει με την έλικα πλοίου και έχει 2 - 8 πτερύγια, συνήθως έχει 4. Τα πτερύγια του είναι ρυθμιζόμενα. Τα πτερύγια του κλίνουν το πλεονέκτημα στο να διατηρούν το βαθμό αποδόσεως του υδροστρόβιλου κλινό για μεγάλες διακυμάνσεις της παροχής.

Τα πτερύγια του είναι ακτινικά διατεταγμένα και μπορούν να περιστραφούν ταυτόχρονα με τα πτερύγια του αγωγού προσαγωγής. Όσο το άνοιγμα των πτερυγίων του αγωγού προσαγωγής είναι μικρότερο, τόσο περισσότερο επίπεδα είναι τα πτερύγια του δρομέα που κλίνεται να στρέφεται.

Ο υδροστρόβιλος **American** είναι και αυτός τύπου έλικα, που χρησιμοποιείται για πτώσεις μέχρι 30m και έχει το χαρακτηριστικό ότι η ροή του νερού μέσα στον δρομέα γίνεται μερικώς αξονικής ροής.

Γενικά χαρακτηριστικά των υδροστροβίλων Pelton και Francis

υδροστροβίλος Pelton:

υδροστροβίλος δράσεως

ατάλληλος για μεγάλες υδραυλικές πτώσεις ($H=300-180$ m ΣΥ)

δύναμη μέχρι 400 MW

αριστη προσαρμογή για λειτουργία υπό μεταβαλλόμενη παροχή

κακή προσαρμογή σε λειτουργία με μεταβλητή υδραυλική πτώση H

υδροστροβίλος Francis, αργόστροφος:

ατάλληλος για αρκετά μεγάλες υδραυλικές πτώσεις ($H=150-750$ mΣΥ)

δύναμη μέχρι 400MW

αριστη προσαρμογή για λειτουργία υπό μεταβαλλόμενη παροχή

κακή προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή υδραυλική πτώση

υδροστροβίλος Francis, ταχύστροφος:

ατάλληλος για μεσαίες υδραυλικές πτώσεις ($H=20-150$ m ΣΥ)

δύναμη μέχρι 800W

κακή προσαρμογή για λειτουργία υπό μεταβαλλόμενη παροχή

αριστη προσαρμογή για λειτουργία με μεταβλητή υδραυλική πτώση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

6.1 Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης

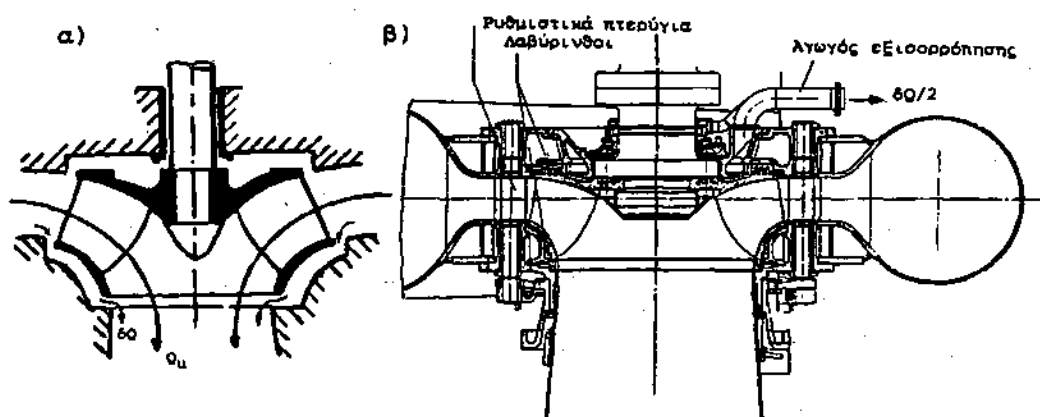
Επίθετα από ότι συμβαίνει στις φυγόκεντρες αντλίες, στην περίπτωση των υδροστροβίλων αντιδράσεως, η παροχή Q_u που διέρχεται μέσω της πτερωτής (και αποδίδει την ενέργεια) είναι μικρότερη από την παροχή Q που διέρχεται από την διατομή εισόδου και εξόδου από την μηχανή κατά την παροχή δQ που, χάρη στην θετική διαφορά της στατικής πίεσης $p_g (H_1 - H_2)$ ρέει από την διατομή εισόδου 1 προς την διατομή εξόδου 2 μέσω του, διακένου που δημιουργείται μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας της, στεφάνης και το εξωτερικό κέλυφος της μηχανής. Η παροχή αυτή δQ χαρακτηρίζεται ως ογκομετρικές απώλειες θα είναι λοιπόν:

$$Q_u = Q - \delta Q \quad (6.1)$$

Οπότε ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης ορίζεται ως ο λόγος :

$$\eta_Q = Q_u / Q = 1 - \delta Q / Q \quad (6.2)$$

Η τιμή των ογκομετρικών απωλειών διατηρείται χαμηλή μέσω της διαμόρφωσης του λαβυρίνθου. Προδιαγράφοντας την τιμή των ογκομετρικών απωλειών με βάση ονομοτεχνικά κριτήρια, υπολογίζεται η παροχή δQ των ογκομετρικών απωλειών και συνεπώς υπολογίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του λαβυρίνθου.



6.1 α) Ανάπτυξη ογκομετρικών απωλειών στην πτερωτή υδροστροβίλου αντιδράσεως
β) Ογκομετρικές απώλειες με την διαμόρφωση αγωγού εξισορρόπησης..

Στην περίπτωση υδρ/λων Francis μεγάλου μεγέθους η διαφορά της στατικής πίεσης στο διάκενο μεταξύ της πλήμνης και του εξωτερικού κελύφους και αυτής στην διατομή εξόδου της πτερωτής μέχρι τον άξονα, της τάξεως του $P_g (H_1 - H_2)$, έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλης αξονικής δύναμης (προς τα κάτω στην περίπτωση κατακόρυφης ταξής) η οποία πρέπει να παραλαμβάνεται από το ωστικό έδρανο. Με σκοπό την μείωση των κατακόρυφων φορτίων το διάκενο μεταξύ πλήμνης και κελύφους συνδέεται με τον αγωγό απαγωγής (περιοχή χαμηλής πίεσης) είτε με αγωγό εξισορρόπησης (σχημα 6.1β) είτε με την διαμόρφωση οπών στην πλήμνη. Με τον τρόπο αυτό μηδενίζεται σχεδόν η διαφορά στατικής πίεσης και η αντίστοιχη αξονική δύναμης.

ως με σκοπό την μείωση της παροχής δQ_2 που θα έρεε μέσω του αγωγού εξισορρόπησης πίεσης λόγω της διαφοράς ($P_2 - P_1$) διαμορφώνεται λαβύρινθος και στο διάκενο μεταξύ άμνης και σταθερού κελύφους (σχήμα 6.16β) και ο οποίος υπολογίζεται έτσι ώστε ο ολικός ογκομετρικός βαθμός απόδοσης να διαμορφώνεται σε αποδεκτή τιμή.

ην περίπτωση υδρ/λων αξονικής ροής οι ογκομετρικές απώλειες εκδηλώνονται μεταξύ ακροπερυγίων και του εξωτερικού κελύφους οπότε ο μόνος τρόπος μείωσής των είναι διαμόρφωση του ακτινικού διακένου στην μικρότερη δυνατή τιμή, της τάξεως του 0,1 % εξωτερικής διαμέτρου της περωτής.

σικά στην περίπτωση των υδροστροβίλων αντιδράσεως, λόγω της ισόθλιπτης ροής στην περωτή, δεν εκδηλώνονται ογκομετρικές απώλειες.

2 Μηχανικός βαθμός απόδοσης

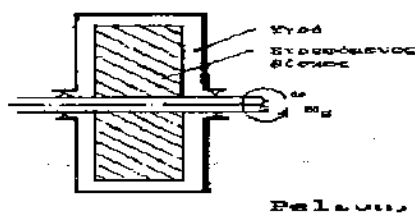
ως και στην περίπτωση των φυγόκεντρων αντλιών οι μηχανικές απώλειες εκφράζουν απώλεια υπό μορφή μηχανικής ισχύος, της N_m , που διακρίνεται στις απώλειες των εδράνων και τις απώλειες στρεφομένου δίσκου N_s , δηλ. $N_m = N_E + N_s$. Άρα η πραγματική μηχανική ισχύς N που αποδίδεται στην άτρακτο της περωτής θα είναι ίση προς:

$$N = N_u - N_m \quad (6.3)$$

μηχανικός βαθμός απόδοσης η_m ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής μηχανικής ισχύος N που αποδίδεται στην άτρακτο της περωτής προς θεωρητική ισχύς N_u που αναπτύσσεται στην περωτή δηλ.

$$\eta_m = N/N_u = 1 - N_m/N_u \quad (6.4)$$

απώλειες στρεφομένου οφείλονται στην τριβή του υγρού στις εξωτερικές επιφάνειες της άμνης και της στεφάνης της περωτής (στην περίπτωση περωτής αξονικής ροής δεν υπάρχει στεφάνη) δηλ. μεταβάλλονται με την 5η δύναμη της διαμέτρου της περωτής και την 3η δύναμη της ταχύτητας περιστροφής. Στο σχήμα 6.2 δίνεται σχηματικά η βασική διάταξη για την πειραματική μέτρηση της ισχύος στρεφομένου δίσκου N_s : ο στρεφόμενος δίσκος υποστηρίζεται στις απώλειες στρεφομένου δίσκου εξωτερικές επιφάνειες της στρεφόμενης περωτής.



Σχήμα 6.2 Πειραματική διάταξη για την μέτρηση των απωλειών στρεφομένου δίσκου.

ν περίπτωση πτερωτής στροβίλου δράσεως, πχ. Pelton δεν υπάρχουν απώλειες εφόμενου δίσκου, όμως άντ' αυτών αναπτύσσονται απώλειες αερισμού που οφείλονται ν κίνηση που προκαλείται στον περιβάλλοντα αέρα από την περιστροφή της πτερωτής

3 Υδραυλικός βαθμός απόδοσης

την περίπτωση υδρ / λου η διαθέσιμη υδραυλική πτώση H εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του υγρού (εκφρασμένη σε μέτρα στήλης του υγρού) που διατίθεται στον / λο ώστε να την μετατρέψει σε μηχανική ενέργεια, ενώ η ενέργεια του υγρού που στοιχεί στην κινητική του ενέργεια στην διατομή εξόδου a , δηλαδή η $c_a^2 / 2g$, φεύγει της ενεργειακής μετατροπής.

θεωρητικό ύψος H_u της πτερωτής, εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του υγρού μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από την πτερωτή. Για την συσχέτιση μεταξύ H και εφαρμόζεται η γενικευμένη εξίσωση Bernoulli μεταξύ της διατομής εισόδου e της ανής, μέχρι την διατομή 1 εισόδου στην πτερωτή:

$$H_{o1} = H_1 + z_1 + c_1^2 / 2g = H_{oe} - \delta h_{fe1} \quad (6.5)$$

ίστοιχα μεταξύ της διατομής εξόδου 2 από την πτερωτή μέχρι την διατομή a εξόδου την μηχανή θα ισχύει:

$$H_{o2} = H_2 + z_2 + c_2^2 / 2g = H_{oa} + \delta h_{f2a} \quad (6.6)$$

αίρωντας κατά μέλη τις εξισώσεις (6.5) και (6.6) και λαμβάνοντας υπόψη την ακάτω εξίσωση:

$$H_u = H_{o1} - H_{o2} - \delta h_{f12} \quad (6.7)$$

όπται:

$$\begin{aligned} H_u &= H_{o1} - H_{o2} - \delta h_{f12} = (H_{oe} - H_{oa}) - (\delta h_{fe1} + \delta h_{f12} + \delta h_{f2a}) = \\ &= (H_{oe} - H_{oa}) - \delta h_{fea} \end{aligned} \quad (6.8)$$

ν οποία με $\delta h_{fea} = (\delta h_{fe1} + \delta h_{f12} + \delta h_{f2a})$ συμβολίζονται οι υδραυλικές απώλειες της ς από την διατομή εισόδου e μέχρι την διατομή εξόδου a της μηχανής. Λαμβάνοντας ψη την παρακάτω εξίσωση:

$$H_{oe} - H_{oa} = z_E - z_A - \delta h_{fe} - c_a^2 / 2g = H - c_a^2 / 2g \quad (6.9)$$

την εξίσωση (1) προκύπτει:

$$H_u = H - c_a^2 / 2g - \delta h_{fea} \quad (6.10)$$

εκφράζει το ότι η ανά μονάδα μάζας ενέργεια του υγρού που μετατρέπεται σε ανική ενέργεια από την πτερωτή, δηλαδή η H_u , είναι ίση με την διαθέσιμη από την

τάσταση ενέργεια H εάν αφαιρεθούν οι απώλειες δh_{fea} της ροής στο εσωτερικό της ανής και η ενέργεια που διαφεύγει αναξιοποίητη, δηλαδή η $c_a^2 / 2g$.

δραυλικός βαθμός απόδοσης η_h του υδρ / λου ορίζεται λοιπόν ως ο λόγος:

$$\eta_h = \frac{H_u}{H} = \frac{H - \delta h_{fea} - c_a^2 / 2g}{H} \quad (6.11)$$

ταχύτητα c_a στην διατομή εξόδου του υδρ / λου αναλύεται σε μεσημβρινή και περιφερειακή συνιστώσα, c_{pa} και c_{ua} αντίστοιχα. Η μεσημβρινή συνιστώσα είναι λογική της διερχόμενης παροχής Q . Η περιφερειακή c_{ua} συνδέεται με την περιφερειακή ιστώσα c_{u2} στην διατομή εξόδου της περωτής καθόσον ισχύει η αρχή της διατήρησης συστροφής (για την εξεταζόμενη μερική περωτή), δηλαδή $c_{ua} \cdot r_a = c_{u2} \cdot r_2$ (σχήμα 2α). Όπως έγινε φανερό στην προηγούμενη παράγραφο η τιμή της c_{u2} και άρα και της εξαρτάται από το σημείο λειτουργίας και γι' αυτό η σχεδίαση της περωτής γίνεται έτσι ε η συστροφή του ρευστού στην έξοδο της περωτής να είναι μηδενική στην γειτονιά κανονικού σημείου λειτουργίας.

υδραυλικές απώλειες δh_{fea} εξαρτώνται από το σημείο λειτουργίας και, όπως και στην ίπτωση των φυγόκεντρων αντλιών, διακρίνονται σε υδραυλικές απώλειες τριβής δητ σε απώλειες κρούσεως δh_a .

Υδραυλικές απώλειες τριβής οι υδραυλικές απώλειες τριβής δητ κατά μήκος των μμών ροής από την διατομή εισόδου e μέχρι την διατομή εξόδου a , διακρίνονται σε μμικές και εντοπισμένες και υπολογίζονται όπως ακριβώς και στην περίπτωση των όκεντρων αντλιών, δηλαδή προκύπτει:

$$\delta h_t = \zeta_t \cdot Q^2 \quad (6.12)$$

ν οποία ο συντελεστής ζ_t είναι σταθερός για την περιοχή της πλήρως τυρβώδους ροής αυξάνεται όσο μειώνεται η τιμή του αριθμού Reynolds της ροής στην μεταβατική και ωτή περιοχή της ροής. Για τον λόγο αυτό όσο αυξάνεται το μέγεθος της μηχανής άνεται και ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης (μεγαλύτερη υδραυλική διάμετρος και Re ν πλήρως τυρβώδη περιοχή).

Υδραυλικές απώλειες κρούσεως. Αυτές οφείλονται στην διαφορά της γωνίας σπτωσης της ροής στα πτερύγια της περωτής κυρίως σε σχέση με την αντίστοιχη ία των πτερυγίων. Οι απώλειες κρούσεως στα ρυθμιστικά πτερύγια δεν είναι αντικές επειδή στην περιοχή αυτή η ροή είναι έντονα επιταχυνόμενη.

σταθερή κλίση των ρυθμιστικών πτερυγίων και μεταβαλλόμενης της παροχής, το ωνο εισόδου μεταβάλλεται, το ίδιο και η κλίση β_{1w} της σχετικής ταχύτητας w_1 . Άρα, κάθε κλίση των ρυθμιστικών πτερυγίων (δηλαδή για κάθε τιμή της α_1) υπάρχει μια η της παροχής Q_{ua} (optimum) για την οποία η κλίση β_{1w} της σχετικής ταχύτητας στην δο της περωτής γίνεται ίση προς την κλίση β_1 των πτερυγίων, δηλαδή για την οποία η εισέρχεται στην περωτή χωρίς κρούση. Για παροχή μικρότερη ή μεγαλύτερη της $Q_{optimum}$ η κλίση β_{1w} γίνεται αντίστοιχα μικρότερη ή μεγαλύτερη της β_1 και εκδηλώνονται λειες κρούσεως και ενδεχόμενα αποκόλληση της ροής.

αντίστοιχες απώλειες κρούσεως εκφράζονται ως:

$$\delta h_a = \kappa \cdot w_c^2 / 2g \quad (6.13)$$

$\kappa = 0,50 - 0,90$, όπου με w_c συμβολίζεται η διαφορά της περιφερειακής συνιστώσας με οποία η κλίση της w_1 γίνεται ίση προς την β_1 (βλέπε σχήμα 6,15). Αντίστοιχα με την περίπτωση των αντλιών (βλέπε παρ. 2.6.2β) οι υδραυλικές απώλειες κρούσεως εκφράζονται

$$\delta h_a = \zeta_a \cdot (1 - Q_u / Q_{uA})^2 \cdot u_1^2 / 2g \quad (6.14)$$

οι οποίες μηδενίζονται για $Q_u = Q_{uA}$.

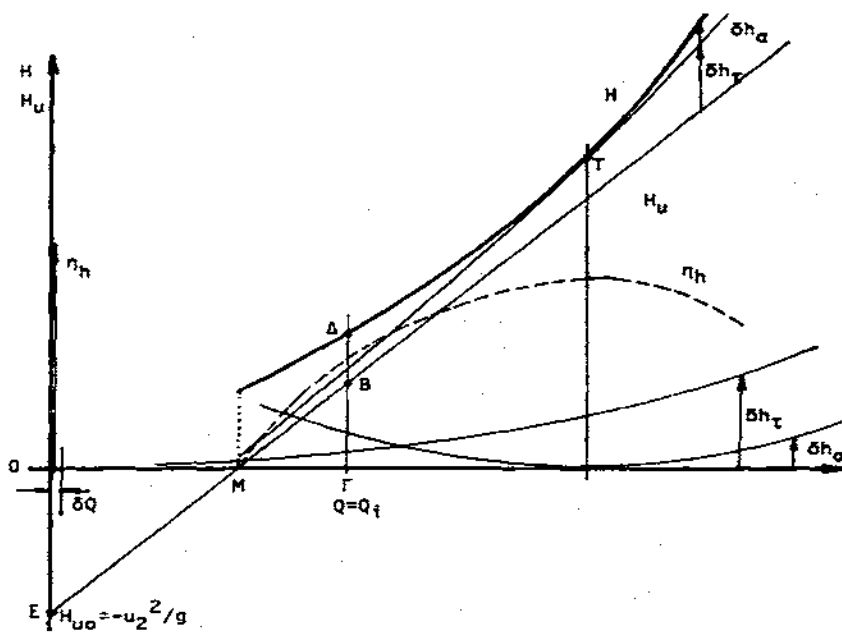
Η παροχή Q_{uA} για είσοδο χωρίς κρούση είναι διαφορετική για κάθε τιμή της κλίσεως α_1 , οπότε η κλίση του ανοίγματος των ρυθμιστικών πτερυγίων και υπολογίζεται θέτοντας στο τρίγωνο ορθογώνιου την β_{1w} ίση προς β_1 . Θα είναι λοιπόν:

$$Q_{uA} = c_{m1A} \cdot s_1 = s_1 \cdot u_1 / (\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\beta_1). \quad (6.15)$$

Χαρακτηριστικές καμπύλες στροβίλου

Για σταθερή κλίση των ρυθμιστικών πτερυγίων, δηλ. για σταθερή α_1 η πραγματική χαρακτηριστική (H, Q) του υδρ/λου προκύπτει από την θεωρητική χαρακτηριστική (H_U, Q_U) , αφαιρώντας τον άξονα Q κατά τις ογκομετρικές απώλειες δQ και προσθέτοντας στην αντίστοιχη τιμή του H_U τις υδραυλικές απώλειες: δh_{fea} ($\delta h_{\text{fea}} = \delta h_\tau + \delta h_a$) και την κινητική ενέργεια $ca^2/2g$ (η ενέργεια που διαφεύγει αναξιοποίητη). Προκύπτει λοιπόν, σημείο προς σημείο, η χαρακτηριστική (H, Q) που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο άνοιγμα των ρυθμιστικών πτερυγίων (σχήμα 6.3): λαμβάνοντας υπόψη ότι η (H_U, Q_U) είναι ευθεία θετικής κλίσης η αντίστοιχη (H, Q) θα είναι καμπύλη με τα κοίλα προς τα επάνω δεδομένου ότι οι υδραυλικές απώλειες δh_{fea} είναι ελάχιστες στην γειτονιά της παροχής για την οποία η είσοδος στην αντλία γίνεται χωρίς κρούση.

Στο σημείο C_0 για το οποίο $H=H_0$ (σχήμα 6.3) και $H_U=0$, και άρα $\eta_h=0$ και $N=0$, αντιστοιχεί στην εν κενώ λειτουργία του υδροστροβίλου με την κανονική του ταχύτητα περιστροφής. Στο σημείο αυτό λειτουργίας η διαθέσιμη υδραυλική πτώση $H=H_0$ διατίθεται για την κάλυψη των υδραυλικών απωλειών δh_{fea} της ροής και άρα η ισχύς $N_i = \gamma H_0 \cdot Q_0$ καταναλώνεται εξ ολοκλήρου στις εσωτερικές απώλειες της μηχανής και έτσι δεν αναπτύσσεται κινητήρια ροπή στην μηχανή. Για $Q < Q_0$ η ισχύς N είναι αρνητική, δηλ. για να επιτευχθεί η περιστροφή της αντλίας με την γωνιακή ταχύτητα η (RPM) και η διακίνηση της θετικής παροχής Q πρέπει να καταναλώνεται ενέργεια..



μα 6.3 Χαρακτηριστικές (H_u, Q) , (H, Q) και $(\eta h, Q)$ για σταθερό άνοιγμα των ρυθμιστικών πτερυγίων και ταχύτητα περιστροφής.

κάθε τιμή της παροχής υπολογίζεται ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης από την εφαρμογή σχέσως ορισμού του (εξ. 6.11), δηλ. για την παροχή $Q=Q_i$ (σχήμα 6.3) $\eta_{ui} = H_{ui}/H_i = (\Gamma B)/(\Gamma \Delta)$. Άρα η παροχή και το σημείο λειτουργίας που αντιστοιχεί στην μέγιστη απόδοσης του υδραυλικού βαθμού απόδοσης θα ορίζεται από το σημείο επαφής T της εφαπτόμενης στην καμπύλη (H, Q) που άγεται από το σημείο E ($Q=0, H_{u0} = -u_2^2/g$). Σύμφωνα με όσα προφέρθηκαν το σημείο μέγιστου υδραυλικού βαθμού απόδοσης θα βρίσκεται με πολύ καλή προσέγγιση στην γειτονία του μέγιστου ολικού βαθμού απόδοσης (για το συγκεκριμένο άνοιγμα των ρυθμιστικών πτερυγίων) και στην γειτονία της παροχής που αντιστοιχεί στη μέγιστη απόδοσης της πτερωτής χωρίς κρούση.

Ειδικός αριθμός στροφών

Ο ειδικός αριθμός στροφών n_Q (ως προς παροχή) των υδροστροβίλων ορίζεται στο κανονικό σημείο λειτουργίας (δείκτης K) ως:

$$n_Q = n * Q_K^{1/2} / H_K^{3/4} \quad (6.16)$$

Η οποία εκφράζει την ταχύτητα περιστροφής του γεωμετρικά όμοιου υδρ/λου του οποίου το κανονικό σημείο λειτουργίας είναι το ακόλουθο: $Q=1$ (μονάδα της παροχής) και $H=1$ (μονάδα διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης). Η τιμή του ειδικού αυτού αριθμού στροφών δεν είναι εξάρτητη των χρησιμοποιούμενων μονάδων οι οποίες θα πρέπει πάντοτε να αναφέρονται. Στην περίπτωση υδροστροβίλων χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μονάδες: n σε RPM, Q σε m^3/sec και H σε $m\Sigma Y$. Με σκοπό την εισαγωγή ενός αριθμού αδιάστατου χρησιμοποιείται ο δείκτης K και ο ειδικός αριθμός περιστροφής n που ορίζεται από την σχέση

$$n = \omega * (Q/\pi)^{0.5} / (2gH)^{0.75} \quad (6.17)$$

του οποίου όμως η εφαρμογή δεν είναι γενικευμένη. Στην εξ. (7.8) με $\omega = 2\pi n / 60$ συμβολίζεται η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής σε rad/sec .

τά παράδοση στην περιοχή των υδρ/λων χρησιμοποιείται (όλο και λιγότερο σήμερα) ο ειδικός αριθμός στροφών ως προς ισχύ n_s και ο οποίος εκφράζει την ταχύτητα περιστροφής του γεωμετρικά όμοιου υδρ/λου, διαμέτρου πτερωτής D_s , του οποίου το κανονικό σημείο λειτουργίας είναι το ακόλουθο: $H_s=1$ (μονάδα υδραυλικής πτώσης) και $N_s=1$ (μονάδα ισχύος). Η τιμή του ειδικού αριθμού στροφών n_s ως προς την ισχύ:

$$n_s = n \cdot N_K^{1/2} / H_K^{5/4} \quad (6.18)$$

Όπως και για τον n_Q η τιμή του n_s δεν είναι ανεξάρτητη των χρησιμοποιούμενων μονάδων. Αν στην εφαρμογή του n_s εγκαταλείπεται σταδιακά, οι συνήθεις μονάδες είναι: η ισχύς σε KW και η παροχή σε m^3/sec . Ο ειδικός αριθμός στροφών n_s (ως προς την ισχύ) παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά συγκρινόμενος με τον n_Q επειδή σε αυτόν υπεισέρχεται μία αρχικά άγνωστη απόδοσης, η τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης η μέσω του οποίου, για την ίδια παροχή και υδραυλική πτώση, υπολογίζεται η ισχύς N .

Για ολικό βαθμό απόδοσης $\eta=0,90$, μεταξύ του n_Q (Q σε m^3/sec , H σε m) και του n_s (N σε KW, H σε m) ισχύει η σχέση (ως διακινούμενο υγρό θεωρείται νερό με $\rho=1000 kg/m^3$).

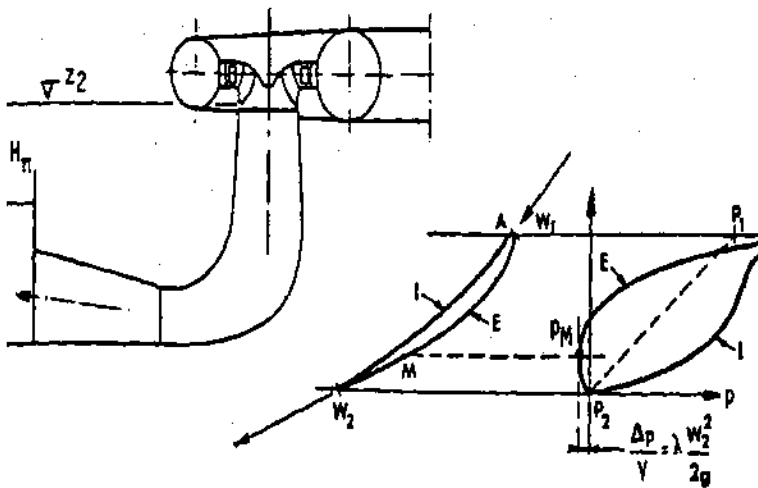
$$n_s = 2,97 \cdot n_Q \quad (6.19)$$

Γεωμετρικά όμοιοι υδρ/λοι έχουν την ίδια τιμή του ειδικού αριθμού στροφών n_Q και n_s ενώ το αντίστροφο δεν ισχύει υποχρεωτικά: υδρ/λοι με τον ίδιο ειδικό αριθμό στροφών έχουν την ίδια παροχή περίπου μεσημβρινή τομή (ακτινικής, μικτής, αξονικής ροής) χωρίς κατ' ανάγκη να είναι γεωμετρικά όμοια. Οι μικροδιασπορές χαρακτηρίζουν την εμπειρία και παράδοση του κατασκευαστή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ.

Περιγραφή του φαινομένου-στάθμη τοποθέτησης του υδρ/λου.

Το φαινόμενο της σπηλαιώσεως αναπτύσσεται στους υδρ/λους με τρόπο ανάλογο με την απόπτωση των αντλιών, δηλ. είναι αποτέλεσμα της πτώσης της στατικής πίεσης του υγρού κάτω από την πίεση ατμοποίησης P_s που αντιστοιχεί στην θερμοκρασία του υγρού. Για τον λόγο αυτό η πλέον πιθανή περιοχή ανάπτυξης του φαινομένου στην περωτή υδρ/λου υδράσεως είναι η περιοχή εξόδου της περωτής όπου η μέση στατική πίεση είναι η χαμηλότερη.



Σχήμα 7.1 α) Στάθμη τοποθέτησης υδρ/λου και β) σχηματική διανομή της στατικής πίεσης γύρω από το περύγιο της περωτής

Το σχήμα 7.1α παριστάνεται σχηματικά η εγκατάσταση υδρ/λου ως προς την στάθμη του υγρού ταμιευτήρα ενώ στο σχήμα 8.1β δίνεται σχηματικά η διανομή της στατικής πίεσης γύρω από τις δύο επιφάνειες ενός περυγίου της περωτής και για ένα σημείο λειτουργίας κοντά στο κεντρικό σημείο. Αντίστοιχα με την περίπτωση περωτής αντλίας διακρίνεται η πλευρά υπέρ πίεσης (κοίλη επιφάνεια I intrados) και η πλευρά υποπίεσης (κυρτή επιφάνεια E extrados). Η διανομή αυτή της στατικής πίεσης είναι αποτέλεσμα του πεδίου της σχετικής ταχύτητας που αποκαθίσταται γύρω από κάθε περύγιο της περωτής και φυσικά η διαφορά $(P_1 - P_2)$ δημιουργεί την κινητήρια ροπή M_u' της ίδιας φοράς με την ταχύτητα περιστροφής. Στο σημείο M της πλευράς E του περυγίου στην οποία αναπτύσσεται η ελάχιστη τιμή της στατικής πίεσης, και η οποία διαφέρει από την μέση στατική πίεση P_2 στην διατομή εξόδου κατά $\delta p_M = P_2 - P_M > 0$. Η διαφορά δp_M εκφράζεται στην συνέχεια ως ποσοστό της κινητικής ενέργειας του υγρού στην διατομή εξόδου (2) της περωτής:

$$\delta p_M = P_2 - P_M = \lambda * (\rho/2) * w_2^2 \quad (7.1)$$

Για να μην αναπτύσσεται συστηματική σπηλαιώση στην περωτή θα πρέπει η μέση ελάχιστη στατική πίεση (λαμβάνοντας υπόψη τον τυρβώδη χαρακτήρα της ροής), η P_M , να

μεγαλύτερη από την πίεση ατμοποίησης του υγρού P_s , δηλ. $P_M > P_s$ (ή σε mΣY:

$$H_M > H_S = P_s / \rho g \quad (7.2)$$

εν συνέχεια με He συμβολίζεται η περιοχή της ολικής πίεσης H_{0a} στην διατομή εξόδου του υδρ/λου ως προς την τάση ατμών H_S του υγρού, δηλ.

$$H_{\theta} = H_{0a} - H_S \quad (7.3)$$

στην εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli μεταξύ της διατομής εξόδου (a) του υδρ/λου και ελεύθερης επιφάνειας του κάτω ταμιευτήρα (όπου η ταχύτητα του υγρού είναι σχεδόν ενική), θεωρώντας αμελητέα την κινητική ενέργεια $ca^2/2g$ και ως στάθμη αναφοράς την στάθμη Z_2 της διατομής εξόδου της πτερωτής προκύπτει:

$$H_{0a} = H_B - H_{\Pi} \quad (7.4)$$

εν οποία με H_B συμβολίζεται η ατμοσφαιρική πίεση και με H_{Π} το ύψος τοποθέτησης του υδρ/λου, δηλ. η διαφορά:

$$H_{\Pi} = Z_2 - Z_A \quad (7.5)$$

ως της οποίας καθορίζεται η στάθμη τοποθέτησης του υδρ/λου, ως προς την στάθμη Z_A κάτω ταμιευτήρα, θεωρούμενης σταθερής. Από τις εξ. (7.3) και (7.4) προκύπτει:

$$H_{\theta} = H_B - H_{\Pi} - H_S \quad (7.6)$$

η τιμή του καθαρού ύψους τοποθέτησης He όπως ορίζεται από την εξ. (7.6) χαρακτηρίζει κλειστικά την τοποθέτηση του υδρ/λου και όχι το σημείο λειτουργίας του.

επιλύοντας την εξίσωση Bernoulli μεταξύ των διατομών (2) και (a) θα είναι:

$$H_{0a} = H_{02} - \delta h_{f2a} \quad (7.7)$$

εν οποία με δh_{f2a} παριστάνονται οι υδρ. απώλειες της ροής μεταξύ των διατομών (2) και (a). Από τον συνδυασμό των εξ. (8.2) και (8.6) το καθαρό ύψος τοποθέτησης εκφράζεται ως

$$H_{\theta\sigma} = H_{0a} - H_S = H_{02} - \delta h_{f2a} - H_S = H_2 + C_2^2 / 2g - \delta h_{f2a} - H_S$$

εν οποία το καθαρό ύψος τοποθέτησης ορίζεται μέσω μεγεθών που χαρακτηρίζουν το είδος λειτουργίας του υδρ/λου (δείκτης σ). Εκφράζοντας στην (7.8) την πίεση H_2 μέσω της (7.1) προκύπτει:

$$H_{\theta\sigma} = H_M + (\lambda * W_2^2 + C_2^2) / 2g - \delta h_{f2a} - H_S \quad (7.9)$$

εν οποία $H_M = P_M / \rho g$ η ελάχιστη μέση πίεση στο σημείο M του πτερυγίου (σχήμα 7.1). Η κρίσιμη κατάσταση λειτουργίας σχετικά με την ανάπτυξη σπηλαίωσης στην πλευρά πίεσης του πτερυγίου θα είναι: $H_M = H_S$, οπότε η αντίστοιχη τιμή του $H_{\theta\sigma}$ χαρακτηρίζεται

κρίσιμο ύψος σπηλαιώσης Ηκρ και χαρακτηρίζει αποκλειστικά την λειτουργία του υδρ/λου:

$$H_{kr} = (C22 + \lambda * w22) / 2g - \delta h_{f2a} \quad (7.10)$$

ανδύζοντας τις εξ. (8.8) και (8.9) προκύπτει:

$$H_{\theta} = H_{kr} + H_M - H_s \quad (7.11)$$

η συνθήκη μη ανάπτυξης σπηλαιώσης στην πτερωτή του υδρ/λου εκφράζεται ως:

$$H_{\theta} > H_{kr} \rightarrow H_{\theta} = H_B - H_{PI} - H_S > H_{KP} \quad (7.12)$$

αδή προκύπτει από την σύγκριση δύο μεγεθών: του H_{θ} που χαρακτηρίζει την τοποθέτηση του υδρ/λου ως προς την στάθμη του κάτω ταμιευτήρα (και όχι την λειτουργία του υδρ/λου) και του H_{kr} που χαρακτηρίζει αποκλειστικά την λειτουργία και (άρα την αξη) του υδρ/λου.

ο λόγος:

$$\sigma = H_{\theta} / H = (H_B - H_{PI} - H_S) / H \quad (7.13)$$

μάζεται παράμετρος Thoma ή παράμετρος σπηλαιώσης της εγκατάστασης, όπου H η στάθμη υδρ. πτώση, και χαρακτηρίζει αποκλειστικά την τοποθέτηση του υδρ/λου. Άρα η συνθήκη (8.11) μη ανάπτυξης σπηλαιώσης εκφράζεται ως:

$$\sigma = H_{\theta} / H > \sigma_{KP} = H_{KP} / H \quad (7.14)$$

η οποία με σ_{kr} συμβολίζεται η παράμετρος σπηλαιώσης του υδρ/λου: $\sigma_{kr} = H_{kr} / H$. Η λειτουργία του υδρ/λου θα είναι επισφαλής από πλευράς σπηλαιώσης όταν $H_B = H_{kr}$ ή $\sigma = \sigma_{kr}$, ενώ για $H_B < H_{kr}$ αντίστοιχα $\sigma < \sigma_{kr}$ η λειτουργία του υδρ/λου γίνεται με σημαντική ανάπτυξη σπηλαιώσης.

ο παράμετρος σπηλαιώσης σ_{kr} χαρακτηρίζει την εμφάνιση της κυριότερης μορφής σπηλαιώσης στους υδρ/λους αντιδράσεως, αυτής δηλ. που έχει την μορφή φυσαλίδων που αναπτύσσονται στην κυρτή επιφάνεια των πτερυγίων (πλευρά υποπίεσης) και κοντά στην ακραία εκφυγής. Όπως θα αναπτυχθεί στην συνέχεια υπάρχουν και μορφές σπηλαιώσης των υδρ/λων η εμφάνιση είναι σχεδόν ανεξάρτητη της τιμής της παραμέτρου σπηλαιώσης σ και καθορίζεται κύρια από το σημείο λειτουργίας, δηλ. για καλά σχεδιασμένο υδρ/λο αυτές οι μορφές σπηλαιώσης δεν αναπτύσσονται στην περιοχή του κανονικού σημείου λειτουργίας. Ωστόσο, προκειμένου για υδρ/λους που θα λειτουργούν χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις του σημείου λειτουργίας τους, η ελαχιστη επιτρεπτή τιμή του σ , δηλ. η σ_{kr} είναι αυτή μέσω της οποίας καθορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη σταθμη τοποθέτησης του υδρ/λου.

η τιμή του σ_{kr} ενός υδρ/λου προσδιορίζεται εργαστηριακά, όπως θα αναπτυχθεί στην

για, όμως για καλά σχεδιασμένους υδρ/λούς, η τιμή του σκρ θα πρέπει να συσχετίζεται με την τιμή του ειδικού αριθμού στροφών ΠΒ (ή Πο) δεδομένου ότι το Ηκρ (εξ. (7.10.)) ορίζεται από τα τρίγωνα ταχυτήτων. Λαμβανοντας λοιπόν υπόψη την συσχέτιση μεταξύ του ειδικού αριθμού στροφών και της μορφής των τριγώνων ταχυτήτων γίνεται φανερό ότι η δυνατότητα συσχέτισης της τιμής του σκρ με τον ειδικό αριθμό στροφών.

Κατά την φάση της σχεδίασης ενός υδροηλεκτρικού έργου για τον καθορισμό της στάθμης θέτησης του υδρ/λου θα πρέπει να υπολογισθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του ύψους θέτησης Ηπ. Με γνωστή την τιμή του σκρ του υδρ/λου το ύψος τοποθέτησης Ηπ και η θέση τοποθέτησης Ζ2 καθορίζονται από την σχέση:

$$\theta > \text{Ηκρ} = \sigma_{\text{κρ}} * \text{Ηκ} \rightarrow \text{ΗΒ} - \text{ΗΠ} - \text{Ηs} > \sigma_{\text{κρ}} * \text{Ηκ} \quad (7.15)$$

$$\pi = Z_2 - Z_A < \text{ΗΒ} - \text{Ηs} - \sigma_{\text{κρ}} * \text{Ηκ}$$

Από την μορφή της συσχέτισης $\sigma_{\text{κρ}} = f(n_s \text{ ή } n_Q)$ προκύπτει ότι, όσο αυξάνεται η τιμή του ειδικού αριθμού στροφών αυξάνεται και η τιμή της παραμέτρου σπηλαιώσης $\sigma_{\text{κρ}}$ και άρα για ικανοποίηση της συνθήκης (7.15) τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η στάθμη Ζ2 θέτησης του υδροστροβίλου. Για Ηπ < 0, δηλ. για Ζ2 < ΖΑ, ο υδροηλεκτρικός σταθμός είναι υπόγειος. Άρα η αύξηση του ειδικού αριθμού στροφών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εκσκαφών για την κατασκευή του ΥΗΣ. Όμως, αύξηση του ns (και του $\sigma_{\text{κρ}}$) δίνει αύξηση της ταχύτητας περιστροφής n(RPM) του υδρ/λου (για το ίδιο κανονικό ύψος λειτουργίας) και άρα ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό μικρότερων διαστάσεων, μικρότερου κόστους και λιγότερες σε όγκο εκσκαφές. Το τελικό κριτήριο επιλογής της τιμής του ειδικού αριθμού στροφών είναι καθαρά τεχνικοοικονομικό και το βέλτιστο αποτέλεσμα προκύπτει από την εξέταση εναλλακτικών λύσεων.

Η τιμή του $\sigma_{\text{κρ}}$ που δίνεται από την συσχέτιση $\sigma_{\text{κρ}} = f(n_s)$ και η οποία πρέπει να θεωρείται ως εμπειρική και κατάλληλη για το στάδιο της προμελέτης της μονάδας. Για υδρ/λούς μεγάλου ύψους η ακριβής τιμή του $\sigma_{\text{κρ}}$ προσδιορίζεται εργαστηριακά, σε γεωμετρικά όμοιο μοντέλο ή και μικρές διαφορές στην χάραξη της πτερωτής μπορεί να προκαλούν σημαντικές αποκλίσεις στην τιμή του $\sigma_{\text{κρ}}$.

Διάφορες μορφές σπηλαιώσης

Η μορφή σπηλαιώσης που αναπτύχθηκε προηγουμένα και περιγράφεται από το σχήμα 7.1 ονομάζεται εξόδου ή σπηλαιώση εξόδου και εκφράζεται ως σπηλαιώση εξόδου. Η τιμή της παραμέτρου σπηλαιώσης σ. Όμως στους υδρ/λούς αναπτύσσονται και άλλες μορφές σπηλαιώσης, η ανάπτυξη των οποίων εξαρτάται κυρίως από το σημείο θέτησης του υδρ/λου και λίγο ή καθόλου από την τιμή της παραμέτρου σπηλαιώσης σ. Ετσι ο εργαστηριακός προσδιορισμός των μορφών αυτών σπηλαιώσης γίνεται μεταβάλλοντας το ύψος λειτουργίας υπό σταθερή τιμή του σ.

Οι περισσότερες μορφές σπηλαιώσης, εκτός από την σπηλαιώση εξόδου είναι οι ακόλουθες:
 1. Σπηλαιώση εισόδου εξωτερικής επιφάνειας (extrados): η μορφή αυτή σπηλαιώσης αναπτύσσεται κοντά στην διατομή εισόδου των πτερυγίων, στην εξωτερική επιφάνεια (extrados) και προς το μέρος της στεφάνης. Η σπηλαιώση εισόδου εμφανίζεται συνήθως στους "ταχύστροφους" Francis λόγω της μεγάλης καμπυλότητας της μεσημβρινής τομής της στεφάνης και οφείλεται στην περιρροή της ακμής εισόδου των πτερυγίων σε υψηλές τιμές παραμέτρου ύψους Ψ (αύξηση της διαθέσιμης υδρ. πτώσης). Η ανάπτυξη αυτής της μορφής σπηλαιώσης είναι πολύ ευαίσθητη στην διαμόρφωση της

ής πρόσπτωσης των πτερυγίων. Έτσι εξηγείται η διαφορά στην ανάπτυξη σπηλαιώσης
όδου μεταξύ των πτερυγίων της ίδιας πτερωτής που συνεπάγεται σημαντική
μοιομορφία στην φθορά μεταξύ των πτερυγίων. Για τον ίδιο λόγο είναι περισσότερο
κολη η μεταφορά των αποτελεσμάτων μεταξύ μοντέλου και πραγματικού, ακόμη και
ν ικανοποιούνται πολύ αυστηρά κριτήρια στην γεωμετρική ομοιότητα του μοντέλου. Η
ική παρατήρηση της σπηλαιώσης εισόδου στο μοντέλο είναι τόσο περισσότερο δύσκολη
μικρότερος είναι ο ειδικός αρ. στροφών της πτερωτής (μεσημβρινή τομή περισσότερο
ινικής ροής). Η σπηλαιώση εισόδου εξωτερικής επιφάνειας προκαλεί σημαντικές φθορές
ν πτερωτή.

ηλαιώση εισόδου εσωτερικής επιφάνειας (intrados): η μορφή αυτή σπηλαιώσης
ακτηρίζεται από την εμφάνιση μεγάλου μεγέθους φυσαλίδων ατμού στην εσωτερική
ράνεια (intrados) του πτερυγίου και στην περιοχή της ακμής εισόδου. Το φαινόμενο
οδεύεται από σημαντικό θόρυβο, όμως δεν είναι επικίνδυνο από πλευράς μηχανικής
δρωσης επειδή οι φυσαλίδες σχηματίζονται και επαναυγροποιούνται μακριά από τα
ώματα των πτερυγίων. Η μορφή αυτή της σπηλαιώσης εμφανίζεται σε χαμηλές τιμές της
αμέτρου ύψους Ψ και οφείλεται στην περιρροή της ακμής εισόδου προς την εσωτερική
ράνεια του πτερυγίου.

ηματισμός στροβίλων Karman: ανάλογα με την μορφή της ακμής εκφυγής των πτερυγίων
ματίζονται στρόβιλοι τύπου Karman κατάντι της πτερωτής που συχνά σπηλαιώνουν για
ηλές τιμές της παραμέτρου σπηλαιώσης σ . Η μορφή αυτή σπηλαιώσης δεν προκαλεί
ρά στην μηχανή αλλά μόνο ταλαντώσεις στην λειτουργία της.

ήλη σπηλαιώσης: σε σημεία λειτουργίας εκτός του κανονικού η ροή εξέρχεται της
ωτής με μη μηδενική συστροφή, δηλ. με $cu_2 \neq 0$. Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της
τροφής που ισχύει κατάντι της πτερωτής, δηλ. $r \cdot cu = \text{σταθ.}$, όσο μειώνεται η ακτίνα r
άνεται το μέτρο της ταχύτητας και μειώνεται αντίστοιχα η στατική πίεση. Για χαμηλές
ς της παραμέτρου σπηλαιώσης σ κάτω από τον κώνο της πλήμνης σχηματίζεται μια
λη σπηλαιώσης και της οποίας η φορά περιστροφής είναι η ίδια με την φορά της
φερειακής ταχύτητας στην έξοδο της πτερωτής, δηλ. ομόρροπη προς την φορά
στροφής της πτερωτής για παροχές μικρότερες της κανονικής και αντίθετη με αυτή για
οχή μεγαλύτερη της κανονικής.

διαστάσεις της στήλης σπηλαιώσης εξαρτώνται από την τιμή της παραμέτρου σ της
τάστασης και αυξάνουν όσο μειώνεται το σ . Το φαινόμενο ανάπτυξης της στήλης
λαιώσης είναι πολύ πολύπλοκο και εξαρτάται από την διαμόρφωση της πτερωτής και την
φή του αποκλίνοντος αγωγού εξόδου. Φυσικά δεν προκαλεί φθορά στην μηχανή αλλά
ανικές ταλαντώσεις καθώς και ταλαντώσεις στην λειτουργία της που είναι πιο έντονες
ν ο αποκλίνον αγωγός εξόδου είναι καμπυλωμένος (όπως συμβαίνει σε όλες τις μεγάλες
άδες αντιδράσεως), λόγω της εντονότερης μη αξονοσυμμετρικής μορφής της κατάντι
ς. Η διακύμανση της λειτουργίας της μηχανής είναι περισσότερο έντονη στην περίπτωση
πτύξης ελικοειδούς στήλης σπηλαιώσης. Η μηχανή μπορεί να πέσει σε κατάσταση
ίθειας όταν οι ταλαντώσεις της ροής έχουν ως αποτέλεσμα την ταλάντωση της
χόμενης παροχής και άρα και της ισχύος εξόδου.

εταβολή της στατικής πίεσης στον αγωγό φυγής γίνεται αισθητή και στο σπειροειδές
υφος με κάποια διαφορά φάσεως και μικρότερο πλάτος. Η διακύμανση της στατικής
ης στο σπειροειδές κέλυφος, και άρα και στο άκρο του αγωγού προσαγωγής έχει ως
τέλεσμα της διακύμανση της παροχής του αγωγού και άρα της ισχύος εξόδου της

άδας. Επίσης είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη η διακύμανση της πίεσης στο άκρο του αγωγού σαγωγής στην περίπτωση συντονισμού με τις ιδιοσυχνότητες του ίδιου του αγωγού σαγωγής.

μηχανικές ταλαντώσεις μπορεί να γίνουν επικίνδυνες για την μηχανική αντοχή της άδας και γ'αυτό προσδιορίζεται πειραματικά η επιτρεπόμενη περιοχή λειτουργίας όσον αφορά την ανάπτυξη της στήλης σπηλαιώσης

υδρ/λους Kaplan εμφανίζονται επιπλέον οι ακόλουθες ειδικές μορφές σπηλαιώσης:

σπηλαιώση πλήμνης: αναπτύσσεται κοντά στο σφαιρικό τμήμα της πλήμνης και προκαλεί σημαντική πτώση του βαθμού απόδοσης. Η έκταση του φαινομένου εξαρτάται από την τιμή σ και δεν πρόκειται για επικίνδυνο από πλευράς φθοράς φαινόμενο.

σπηλαιώση της στεφάνης (ή ακροπτερυγίων): πρόκειται για φαινόμενο που χαρακτηρίζει πτερωτές που δεν έχουν εξωτερική στεφάνη (τα πτερύγια είναι πρόβολοι που στηρίζονται στην πλήμνη), όπως οι υδρ/λοι αξονικής ροής και Deriaz (πολύ σπάνια σε "ταχύστροφους" turbines). Η ανάπτυξη αυτής της μορφής σπηλαιώσης οφείλεται στις σημαντικές ταχύτητες ροής που αναπτύσσονται μεταξύ των ακροπτερυγίων και του εσωτερικού κελύφους (επιρροή του ακροπτερυγίου από την πλευρά υπερπίεσης προς την πλευρά υποπίεσης). Για μικρές τιμές της παραμέτρου σ η περιρροή αυτή συνοδεύεται με την ανάπτυξη σπηλαιώσης και προκαλεί σημαντικές φθορές, αν και δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της μηχανής.

Φθορές από την σπηλαιώση και προστασία

Φθορά που προκαλείται σε μία πτερωτή λόγω της σπηλαιώσης μετράται από την ποσότητα απώλειά μάζας μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας (της τάξεως των 10 έως 10000 ωρών λειτουργίας).

Για του υδρ/λους Francis περισσότερο επικίνδυνη από πλευράς φθοράς είναι η σπηλαιώση εισόδου στην εξωτερική επιφάνεια του πτερυγίου που προκαλεί ζώνες φθοράς μεγάλης έκτασης αλλά σημαντικού βάθους. Η σπηλαιώση εξόδου είναι λιγότερο επικίνδυνη από πλευράς μηχανικής διάβρωσης και μάλιστα ο ρυθμός της φθοράς μειώνεται όσο αυξάνεται η υδραυλική πτώση. Για τον λόγο αυτό για μικρές τιμές της υδρ. πτώσης η φθορά δεν είναι ανάγκη να κατασκευάζεται από υλικά υψηλής μηχανικής αντοχής.

Στους υδρ/λους Kaplan περισσότερο επικίνδυνη από πλευράς φθοράς είναι η σπηλαιώση της στεφάνης η οποία προκαλεί φθορές τόσο στα ακροπτερύγια όσο και στο κέλυφος. Η μείωση της απόδοσης γίνεται με επικάλυψη των ευαίσθητων ζωνών (που έχουν εντοπισθεί από τις εργαστηριακές δοκιμές στο γεωμετρικά όμοιο μοντέλο) με κράματα μεγάλης αντοχής. Για την αντιμετώπιση της σπηλαιώσης στεφάνης υδρ/λου Kaplan είναι δυνατή η πρόβλεψη και η αφαίρεση των δακτυλίων φθοράς στην στεφάνη και η διαμόρφωση μικρών περιφερειακών επιλατύνσεων στα άκρα των πτερυγίων που μειώνουν δραστικά το φαινόμενο της σπηλαιώσης.

Η εμφάνιση της στήλης σπηλαιώσης προκαλεί ταλαντώσεις σε ολόκληρη την μονάδα. Η μείωση του όγκου της στήλης και ο περιορισμός των επιπτώσεων στην λειτουργία της μονάδας μπορεί να γίνει με την τοποθέτηση διαμορφώσεων (πτερυγίων ή πρισμάτων) στον άξονα εξόδου του αγωγού φυγής και με τον τεχνητό εξαερισμό του κώνου της πλήμνης πλένοντας πεπιεσμένο αέρα μέσα από ειδικά διαμορφωμένες οπές ή επιτρέποντας την απορρόφηση αέρα από την ατμόσφαιρα μέσω της κοίλης ατράκτου (η αναρροφούμενη

παροχή αέρα είναι της τάξεως του 2% της παροχής του υδρ/λου (κατ' όγκο). Κύριο αποτέλεσμα της παροχής αέρα είναι η μείωση των ταλαντώσεων που προκαλούνται στην ομάδα αλλά παράλληλα μειώνεται ο ολικός βαθμός απόδοσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

1 Εισαγωγή.

Το κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθεί η διαδικασία καθορισμού-επιλογής των κύριων διαστάσεων των συνηθέστερων τύπων υδρ/λων και συγκεκριμένα: Francis, Παστρέψιμος, Kaplan, Βολβοειδής (bulb) και Pelton. Θα πρέπει να γίνει σαφές ότι ο καθορισμός-επιλογή των κύριων διαστάσεων της μηχανής σχετίζεται με την μελέτη-χάραξη της περωτής και των άλλων λειτουργικών τμημάτων της μηχανής, όπως του τειροειδούς κελύφους ή της στεφάνης των ρυθμιστικών πτερυγίων, και για τον λόγο αυτό η διαδικασία επιλογής των κύριων διαστάσεων, πριν από την οριστική μελέτη και χάραξη της περωτής είναι πρωθύστερη και για τον λόγο αυτό οι κύριες διαστάσεις των μονάδων είναι ενδεικτικές. Οι ολικές διαστάσεις των μονάδων είναι όμως απαραίτητες τόσο στην φάση της προμελέτης του ΥΗΕ, γιατί από αυτές θα προκύψει η διάταξη και το μέγεθος του σταθμού παραγωγής (ΥΗΣ), όσο και στην φάση της οριστικής μελέτης των έργων πολιτικού μηχανικού για τον σταθμό παραγωγής. Επειδή η διάρκεια κατασκευής των ΥΗΕ είναι μεγάλη, τα έργα πολιτικού μηχανικού (εκτός ενδεχόμενα από μικρομέρειες που σχετίζονται με την έδραση των υδρ/λων) βρίσκονται σε πολύ προχωρημένο στάδιο την στιγμή που γίνεται η ανάθεση κατασκευής του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Είναι λοιπόν απαραίτητες οι έστω ενδεικτικές διαστάσεις των υδρ/λων πολύ πριν αρχίσει η μελέτη και κατασκευή τους οπότε και θα οριστικοποιηθούν οι τελικές διαστάσεις σύμφωνα με την εμπειρία και παράδοση του κατασκευαστή που θα αναλάβει το έργο.

Τόσο η διαδικασία καθορισμού των κύριων διαστάσεων όσο και μελέτης-χάραξης της περωτής και των άλλων στοιχείων δεν αποτελούν απόλυτους κανόνες και για τον λόγο αυτό παρατηρούνται μικρές διαφορές μεταξύ των κατασκευαστών, για το ίδιο μοναδικό σημείο λειτουργίας και την ίδια ταχύτητα περιστροφής, δηλ. την ίδια τιμή του ειδικού αριθμού στροφών, γεγονός που αποτελεί απόδειξη της ισχύος των νόμων ομοιότητας, όπως αυτός εκφράζεται μέσω του ειδικού αριθμού στροφών. Οι ενδεικτικές διαστάσεις που προκύπτουν από την διαδικασία που θα αναπτυχθεί στην συνέχεια οφείνται έντονα από την τιμή του ειδικού αριθμού στροφών και είναι αποτέλεσμα συσχετίσεων καλά σχεδιασμένων, οικονομοτεχνικά αποδεκτών υδρ/λων, στους οποίους λαβή συμβιβάζονται τα διάφορα κριτήρια, όπως ο ολικός βαθμός απόδοσης, το μέγεθος (και άρα το κόστος), η σπηλαίωση, η ταχύτητα φυγής κλπ. Οι συσχετίσεις αυτές παρουσιάζονται και σε διαγράμματα που ονομάζονται "στατιστικά", χωρίς όμως ο όρος αυτός να έχει κάποια απόχρωση του τυχαίου αφού η συσχέτιση είναι τελικά αποτέλεσμα ομοιότητας ισχύος των νόμων της ομοιότητας.

2 Κύριες διαστάσεις υδροστροβίλου Francis

2.1 Καθορισμός βασικών λειτουργικών παραμέτρων.

Για τις διάφορες μελέτες που έχουν γίνει για τον καθορισμό των κύριων διαστάσεων, υδρ/λων Francis μέσω συσχετίσεων, τα στοιχεία που δίνονται στην συνέχεια προέρχονται

ώως από την μελέτη των F. de Siervo και F. de Leva (Water Power and Dam Construction, 1976), λόγω του ότι είναι η πλέον σύγχρονοι και έχει λάβει υπόψη μεγάλο αριθμός υδρ/λων Francis.

Από την εξισ. ορισμού του n_s εξ. (6.7) στην συνέχεια υπολογίζετε κατ'αρχήν η ταχύτητα περιστροφής n (RPM), η τελική τιμή της οποίας επιλέγεται έτσι ώστε να είναι συγχρονη. Κατά την επιλογή της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής υπολογίζεται η τελική τιμή του ειδικού αρ. στροφών n_s .

Η ταχύτητα φυγής u_e των υδρ/λων Francis εκφράζεται συναρτήσει του ειδικού αρ. στροφών n_s από την συσχέτιση:

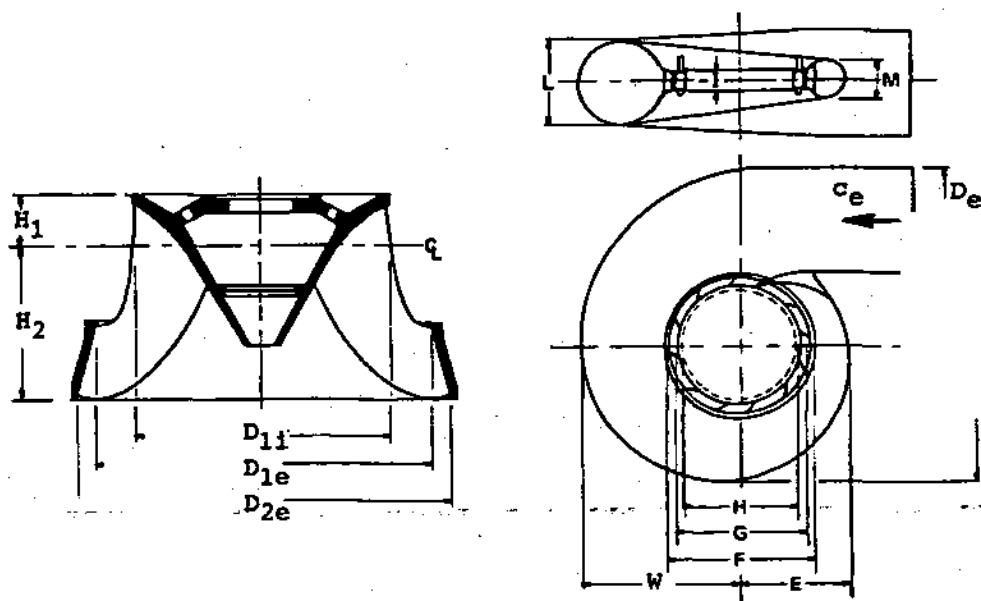
$$u_e/n = 1,52 + 1,52 \cdot 10^{-3} \cdot n_s \quad (8.2)$$

Η επιτρεπόμενη τιμή της παραμέτρου σπηλαιώση σ_{kr} , για το κανονικό σημείο λειτουργίας, δίνεται από την συσχέτιση:

$$\sigma_{kr} = 7,54 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^{1,41} \quad (8.3)$$

Οι κύριες διαστάσεις που καθορίζουν την γεωμετρία του υδρ/λου αδιαστατοποιούνται αρχίζοντας ως διάμετρο αναφοράς την διάμετρο της στεφάνης στην διατομή εξόδου D_{2e} (πίνακας 10. 2α). Για τον καθορισμό των διαφόρων διαστάσεων απαιτείται λοιπόν να καθοριστούν ο καθορισμός της διαμέτρου D_{2e} . Ο υπολογισμός της D_{2e} γίνεται είτε μέσω της αντίστοιχης τιμής της παραμέτρου παροχής Φ είτε από την τιμή της αδιάστατης παραμέτρου της περιφερειακής ταχύτητας U_{2e} :

$$U_{2e} = u_{2e} / \sqrt{2gH} = \pi \cdot D_{2e} \cdot n / 60 \sqrt{2gH} \quad (8.4)$$



Πίνακας 8.1 α) Μεσημβρινή τομή και κύριες διαστάσεις πτερωτής
β) Κύριες διαστάσεις του σπειροειδούς κελύφους υδρ/λου Francis

Οι de Siervo και deLeva προτείνουν τον προσδιορισμό της D_{2e} από την τιμή της U_{2e} συσχέτιζοντας την με την τιμή του ειδικού αριθμού στροφών n_s :

$$U_{2e}=0,31+2,5 \cdot 10^{-3} \cdot n_s \quad (8.5)$$

την οποία υπολογίζεται στην συνέχεια η τιμή D_{2e} (εξ. (10.4)). Για τον προσδιορισμό της μέτρου D_{2e} ο J.E. Greaser προτείνει την ακόλουθη συσχέτιση μέσω της τιμής της αμέτρου παροχής Φ στο κανονικό σημείο λειτουργίας:

$$D=0,15+0,3 \cdot v \approx 0,15+5,46 \cdot 10^{-3} \cdot n_s \quad (8.6)$$

2 Καθορισμός των κύριων διαστάσεων της περωτής

υπόλοιπες κύριες διαστάσεις (σχήμα 8.1α) που καθορίζουν την γεωμετρία της ημιβρινής τομής της περωτής (υδραυλικό προφίλ) δίνονται αδιαστατοποιημένες ως προς D_{2e} από τις ακόλουθες συσχετίσεις συναρτήσεως του ειδικού αριθμού στροφών n_s :

$$\begin{aligned} D_{II}/D_{2e} &= 0,40+94,5/n_s \\ D_{Ie}/D_{2e} &= 1/(0,96+0,38 \cdot 10^{-3} \cdot n_s) \\ H_1/D_{2e} &= 0,094+0,25 \cdot 10^{-3} \cdot n_s \\ H_2/D_{2e} &= -0,05+42/n_s \quad \text{για } 50 < n_s < 110 \\ H_2/D_{2e} &= 1/(3,16-1,3 \cdot 10^{-3} \cdot n_s) \quad \text{για } 110 < n_s < 350 \end{aligned} \quad (8.7)$$

Μικρές τιμές της τυπικής απόκλισης των συσχετίσεων αυτών επιβεβαιώνει ότι ο ειδικός αριθμός στροφών Π_B (ή ο nQ) χαρακτηρίζει την μορφή της μεσημβρινής τομής της περωτής και επιβεβαιώνει την ισχύ των νόμων ομοιότητας.

Ο ύψος b των ρυθμιστικών περυγίων δίνεται από τον Th. Bovet από την συσχέτιση:

$$b/D_{2e} = 7,28 \cdot 10^{-4} \cdot n_s \cdot (2-1,82 \cdot 10^{-3} \cdot n_s) \quad (8.8)$$

3 Καθορισμός των κύριων διαστάσεων του σπειροειδούς κελύφους

Οι κύριες διαστάσεις του σπειροειδούς κελύφους δίνονται στο σχήμα 8.1β και εξαρτώνται από την τιμή της μέσης ταχύτητας C_e στην διατομή εισόδου, διαμέτρου D_e . Προφανώς η C_e σχετίζεται με την διάμετρο D_e μέσω της αρχής της συνέχειας. Ο υπολογισμός του σπειροειδούς κελύφους γίνεται στο κανονικό σημείο λειτουργίας και βασίζεται στην αρχή συνέχειας θεωρώντας ομοιόμορφη τροφοδοσία της περωτής κατά την περιφέρεια και στην αρχή διατήρησης της συστροφής.

Η μέση ταχύτητα C_e σε m/sec λαμβάνεται από την ακόλουθη συσχέτιση συνάρτησης του n_s :

$$C_e = 84,4 \cdot n_s^{-0,44} \quad (8.9)$$

Η διάμετρος εισόδου D προκύπτει από την συσχέτιση:

$$D/D_{2e} = 1,2-19,56/n_s \quad (8.10)$$

Η επιλογή της ταχύτητας εισόδου c_e είναι καθοριστική του μεγέθους του σπειροειδούς κελύφους και το οποίο προσδιορίζει κατά κύριο λόγο τον όγκο που καταλαμβάνει ο υδραυλικός δεξαμενισμός δεδομένου ότι πρόκειται για το ογκοδιέστερο τμήμα του και έχει σημαντική εισφορά στην διαμόρφωση του κόστους του. Η αδιάστατη παράμετρος $C_e = c_e/2gH$, όταν

ε λαμβάνεται από την συσχέτιση (8.9) μεταβάλλεται ανάλογα προς το $H^{-0,17}$, δηλ. άνεται ελαφρά με την αύξηση του ns . Το γεγονός αυτό αποτελεί συμβιβαστική λύση αξύ δύο αντίθετων επιδιώξεων: διατήρηση του C_e σταθερού (ανεξάρτητα της τιμής του σημαίνει ότι οι υδραυλικές απώλειες στο κέλυφος (ανάλογες του ce^2) είναι σταθερό ποσό του H_k και άρα διατηρείται σταθερή η αντίστοιχη συνεισφορά τους στον υδραυλικό μπό απόδοσης της μονάδας. Στις υψηλές όμως τιμές του ns (δηλ. για αναλογικά μεγάλες οχές) η σταθερή τιμή του C_e αντιστοιχεί σε μεγάλο όγκο της μονάδας γεγονός που βαρύνει το κόστος της. Διατήρηση σταθερής της ce (m/sec) θα σήμαιναι, με σταθερές τις ες παραμέτρους, σημαντική αύξηση του ποσοστού της αδιάστατης παραμέτρου C_e ονομένου του ns και άρα αύξηση του ποσοστού των υδραυλικών απωλειών. Η χέτιση (8.9) εκφράζει λοιπόν τον συμβιβασμό των δύο αντίθετων επιδιώξεων (βαθμός οδοσης και κόστος).

$$\begin{aligned}
 B/D_{2e} &= 1,1 + 54,8/ns \\
 C/D_{2e} &= 1,32 + 49,25/ns \\
 W/D_{2e} &= 1,50 + 48,8/ns \\
 E/D_{2e} &= 0,98 + 63,6/ns \\
 F/D_{2e} &= 1 + 131,4/ns \\
 G/D_{2e} &= 0,89 + 96,5/ns \\
 Dd/D_{2e} &= 0,79 + 81,75/ns \\
 /D_{2e} &= 0,10 + 6,5 \cdot 10^{-4} ns \\
 /D_{2e} &= 0,88 + 4,9 \cdot 10^{-4} ns \\
 M/D_{2e} &= 0,60 + 1,5 \cdot 10^{-5} ns
 \end{aligned}
 \tag{8.11}$$

Κύριες διαστάσεις υδροστρόβιλου Pelton.

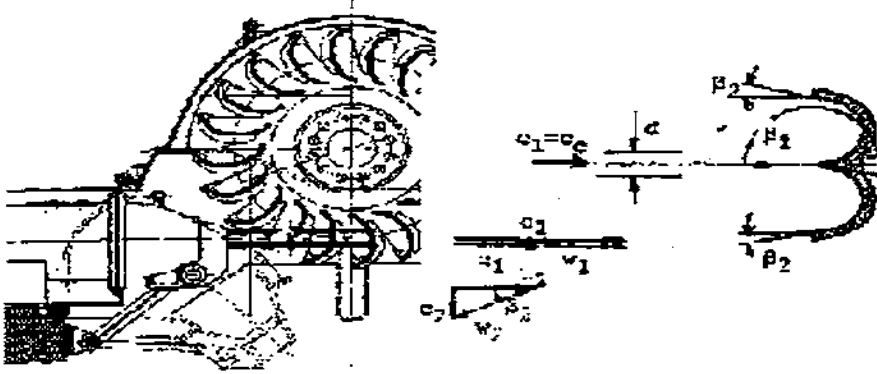
1 καθορισμός κύριων λειτουργικών παραμέτρων.

εθοδολογία και τα στοιχεία που παρατίθενται στην συνέχεια έχουν ληφθεί από την κική εργασία των F. deSiervo και A. Lugaresi (Water Power and Dam Construction, Dec. 3). Για δεδομένη παροχή Q και διαθέσιμη υδρ. πτώση H στο κανονικό σημείο ουργίας ο καθορισμός του ειδικού αρ. στροφών ns εξαρτάται απ'το πλήθος Z_j των αών (ακροφυσίων) τροφοδοσίας, δεδομένου ότι η οχή Q_j ανά δέσμη είναι ίση προς: $Q_j = Q/Z_j$. διαθέσιμη υδρ. πτώση H μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε κινητική ενέργεια από το ειδικά ορφωμένο ακροφύσιο, δηλ. σε δέσμη κυκλικής διατομής μέσης ταχύτητας C_e (σχήμα) η οποία θα είναι ίση προς

$$C_e = \varphi \sqrt{2gH} \tag{8.14}$$

η οποία φ συντελεστής απωλειών του ακροφυσίου της τάξεως του $\varphi = 0,97$. Επομένως η οχή από κάθε δέσμη διαμέτρου d θα είναι ίση προς:

$$Q_j = \pi d^2 \cdot \varphi \sqrt{2gH} / 4 \tag{8.15}$$



Εικόνα 8.2 α) Πτερωτή και ακροφύσιο τροφοδοσίας β) σκαφίδιο και τρίγωνα ταχυτήτων του Pelton

Η απόλυτη ταχύτητα C_1 του τριγώνου εισόδου είναι ίση προς την ταχύτητα c_e της δέσμης, $C_1 = C_e$, και είναι συγγραμμική προς την περιφερειακή ταχύτητα u_1 . Άρα συγγραμμική θα είναι και η σχετική ταχύτητα w_1 και ίση προς: $w_1 = c_1 - u_1$ (σχήμα 8.2β). Για το τρίγωνο εξόδου γνωστή η περιφερειακή ταχύτητα $U_2 = u_2 = \omega D/2$ και η κλίση β_2 του σκαφιδίου και της σχετικής ταχύτητας w_2 με την επιπλέον συνθήκη ότι στο κανονικό σημείο λειτουργίας η περιφερειακή συνιστώσα c_{u2} θα πρέπει να είναι μηδενική, δηλ. $c_{u2} = 0$. Άρα το τρίγωνο ταχυτήτων εξόδου για το κανονικό σημείο λειτουργίας μπορεί να κατασκευασθεί (σχήμα 8.2β): θα είναι $W_2 = U_2 / \cos\beta_2$, οπότε για $\beta_2 = 15^\circ$ (ενδεικτική τιμή) θα είναι: $W_2 = 1,035 \cdot u_2$. Επειδή η ροή είναι ισόθλιπη ($P_2 = P_1$) από την εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli στο σχετικό σύστημα και λαμβάνοντας υπόψη ότι $u_1 = u_2 = u$ προκύπτει η συνθήκη: $w_1 = w_2$, και άρα: $w_1 = w_2 \approx 1,035 u$. Σύμφωνα με τα προηγούμενα θα είναι:

$$C_1 = C_{u1} = u_1 + w_1 = u + w_1 = u + 1,035 u = 2,035 u \rightarrow u = 0,49 C_e \quad (8.16) \quad (8.16)$$

στο κανονικό σημείο λειτουργίας η περιφερειακή ταχύτητα είναι το μισό περίπου της ταχύτητας της δέσμης c_e ή $u = 0,49 \phi 2gH$. Η αδιάστατη παράμετρος της περιφερειακής ταχύτητας θα είναι ίση προς:

$$U = u / \sqrt{2gH} = 0,49 \cdot \phi \text{ και για } \phi = 0,97 \quad (8.17)$$

$$U = 0,475$$

Η πραγματική ισχύς που αποδίδει ο υδρ/λος θα είναι ίση προς:

$$P = \gamma H Q \eta = \gamma H \cdot Z_j (\pi d^2 / 4) \cdot \phi \cdot 2gH \cdot n \quad (8.18)$$

Άρα η ισχύς ανά δέσμη θα είναι ίση προς: $N_j = N / Z_j$, δεδομένου ότι κάθε ακροφύσιο με την ίδια στοιχειώδη δέσμη λειτουργούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Άρα, ο ειδικός αριθμός δέσμων που θα είναι χαρακτηριστικός της μορφής της πτερωτής και του ακροφυσίου του Pelton θα είναι αυτός που διαμορφώνεται με την παροχή ή την ισχύ ανά ακροφύσιο εκφράζεται ως:

$$n_{sj} = n \cdot N_j^{1/2} / H^{5/4} = n \cdot (N/Z_j)^{1/2} / H^{5/4} = n_s / Z_j^{1/2} \quad (8.19)$$

Πολλαπλασιάζοντας στην (8.19) την ισχύ όπως εκφράζεται μέσω της εξ. (8.18) και εκφράζοντας την ταχύτητα περιστροφής n (RPM) μέσω της αδιάστατης παραμέτρου U προκύπτει:

$$n_{sj} = 573,7 \cdot U \cdot (d/D) \sqrt{\phi \eta} \quad (8.20)$$

Πρόσθροντας υπόψη ότι στο κανονικό σημείο λειτουργίας είναι $U \approx 0,47$, ότι ο ολικός βαθμός απόδοσης η είναι της τάξεως του $\eta \approx 0,85$ και ότι η τιμή του συντελεστή ϕ της δέσμης είναι $\phi \approx 0,97-0,98$, από την (8.20) προκύπτει:

$$n_{sj} = 249 \cdot d/D \quad (8.21)$$

Από την εξ. (8.21) προκύπτει ότι ο λόγος (d/D) εξαρτάται ουσιαστικά από τον ειδικό αριθμό απόδοσης n_{sj} της πτερωτής, η τιμή του οποίου λαμβάνεται ως συνάρτηση της διαθέσιμης υδρικής πτώσης H_k από την συσχέτιση:

$$n_{sj} = 85,49 \cdot H_k^{-0,243} \quad (8.22)$$

Αυξάνεται το πλήθος Z_j των δεσμών (με μέγιστο το 6 αλλιώς υπάρχει πρόβλημα χώρου στην διάταξη των ακροφυσίων ώστε το ένα να μην επηρεάζει την λειτουργία του άλλου) αυξάνεται και η τιμή του $n_s = n_{sj} \sqrt{z_j}$. Αύξηση του n_s , για τα ίδια Q και H , αντιστοιχεί σε αύξηση της ταχύτητας περιστροφής και άρα σε μείωση του όγκου και του κόστους του τριτομηχανολογικού εξοπλισμού και των έργων πολιτικού μηχανικού. Η αύξηση όμως της ταχύτητας περιστροφής έχει τις ακόλουθες αρνητικές συνέπειες: αυξάνεται η κόπωση της πτερωτής (που είναι ανάλογη του γινομένου της ταχύτητας περιστροφής επί το πλήθος των δεσμών) και άρα απαιτείται συχνότερος έλεγχος, αυξάνονται οι τάσεις που αναπτύσσονται στην πτερωτή λόγω της περιστροφής της (οι ορθές τάσεις που αναπτύσσονται είναι ανάλογες του n^2) ενώ θα πρέπει η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου στην κανονική λειτουργία και η ταχύτητα φυγής D_e να είναι πάντοτε μικρότερες από την αντίστοιχη κρίσιμη ταχύτητα περιστροφής της. Τέλος η μείωση της διαμέτρου της πτερωτής μπορεί να κάνει δύσκολη την εγκατάσταση περισσότερων ακροφυσίων στην περίμετρό της. Από την άλλη πλευρά, όσο το πλήθος των δεσμών γίνεται μικρότερο, τόσο αυξάνεται το μέγεθος των σκαφιδίων με αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγαλύτερων δυνάμεων σε αυτά και την μείωση του βαθμού απόδοσης λόγω της μη ομοιογενούς οδήγησης της ροής στο μεγάλο μεγέθους σκαφίδιο. Επειδή είναι πολύ δύσκολη η ομαλή λειτουργία υδρ/λου Pelton οριζόντιου άξονα με περισσότερες από δύο πτερωτές (χωρίς τα απόνερα της μίας να καταστρέφει την ροή της άλλης) η τοποθέτηση περισσότερων δεσμών οδηγεί συνήθως σε υδρ/λο κατακόρυφου άξονα οπότε ο συνολικός όγκος που καταλαμβάνεται γίνεται πολύ μεγάλος. Για τους λόγους αυτούς προκύπτει μερικές φορές περισσότερο συμφέρουσα η τοποθέτηση δύο υδρ/λων Pelton οριζοντίου άξονα στα δύο άκρα της ατράκτου της γεννήτριας.

Η εμπειρική τιμή της αδιάστατης παραμέτρου της περιφερειακής ταχύτητας U προέκυψε ότι είναι της τάξεως του 0,47 (βλ. εξ. (8.17)). Σύμφωνα με τις στατιστικές συσχετίσεις η τιμή του U μπορεί να συναρτηθεί του n_{sj} από την σχέση:

$$=0,5445-3,9 \cdot 10^{-3} \cdot n_{sj} \quad (8.23)$$

την οποία προκύπτει στην συνέχεια η διάμετρος D της πτερωτής. Η διάμετρος d της ης υπολογίζεται στην συνέχεια είτε μέσω της εξ. (8.20) εκτιμώντας την τιμή του φ και από την συσχέτιση:

$$D = n_{sj} / (250,74 - 1,796 \cdot n_{sj}) \quad (8.24)$$

κατώτερο σημείο της πτερωτής υδρ/λου Pelton τοποθετείται πάνω από την ελεύθερη θμη, του κάτω ταμιευτήρα κατά την υψομετρική διαφορά $H_{\pi} = Z_e - Z_A$ έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η λειτουργία της πτερωτής από τις μεταβολές της κατόντι στάθμης.

ελεύθερη αυτή στάθμη εξαρτάται από την παροχή Q, ιδίως εάν το μήκος του αγωγού φυγής τον κάτω ταμιευτήρα είναι σημαντικό, εκτός από τις εποχιακές διακυμάνσεις της θμης του κάτω ταμιευτήρα. Η υψομετρική διαφορά H_{π} (σε m) σχετίζεται με τον ειδικό μό στροφών n_s και την παροχή Q (σε m^3/Sec) με την σχέση:

$$H_{\pi} = 1,87 + 2,24 \cdot Q / n_s \quad (\text{σε m}) \quad (8.25)$$

ταχύτητα φυγής n_e των υδρ/λων Pelton φαίνεται ότι συσχετίζεται με τον n_s αλλά και άλλους άγοντες. Από την επεξεργασία των στοιχείων των είδη εγκατεστημένων υδρ/λων Pelton κούπτει ότι ο λόγος n_e/n_s κυμαίνεται στο διάστημα: $n_e/n_s = 1,68 - 1,88$, με πιθανότερη την τιμή . Στην διαμόρφωση της τιμής της ταχύτητας φυγής n_e σημαντικό ρόλο έχει και η μορφή κελύφους της πτερωτής και το πλήθος των δεσμών και γι'αυτό γίνεται δύσκολη η ύπωση μιας ακριβέστερης συσχέτισης.

2 Καθορισμός των κύριων διαστάσεων πτερωτής Pelton

καθορισμός της διαμέτρου D της πτερωτής έγινε μέσω της αδιάστατης παραμέτρου της φερειακής ταχύτητας εξ. (8.23). Η εξωτερική διάμετρος D_0 της πτερωτής υπολογίζεται την ακόλουθη συσχέτιση:

$$D_0/D = 1,028 + 0,0137 \cdot n_{sj} \quad (8.26)$$

λάτος και μήκος των σκαφών (σε m) λαμβάνεται από τις σχέσεις:

$$H_1 = 3,20 \cdot d^{0,96} \quad (\text{σε m}) \quad (8.27)$$

$$H_2 = 3,23 \cdot d^{1,02} \quad (\text{σε m}) \quad (8.28)$$

ο d η διάμετρος της δέσμης σε m. Η τυπική απόκλιση των συσχετίσεων αυτών είναι αντική επειδή η χάραξη των σκαφιδίων εξαρτάται σημαντικά από την τεχνική και την άδοση του κάθε κατασκευαστή.

πλήθος Z_b των σκαφιδίων λαμβάνεται από την εμπειρική σχέση:

$$Z_b = 15 + D/2d \quad (8.29)$$

ελπιστοποίηση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την χάραξη των σκαφιδίων και της εγκοπής στο άκρο δεδομένου ότι για μεγάλο πλήθος σκαφιδίων (άρα σε πολύ πυκνη διάταξη) η από την έξοδο του ενός προσπίπτει στην πίσω επιφάνεια του επομένου ενώ για σκαφίδια ραφή διάταξη τμήμα της παροχής ενδέχεται να διαφεύγει αναξιοποίητο.

Πλεονεκτήματα υδρ/λου PELTON

Η στάθμη τοποθέτησης του υδροστροβίλου Pelton είναι μεγαλύτερη από αυτή του Francis φυσικά μεγαλύτερη από την μέγιστη στάθμη του κάτω ταμιευτήρα.

Δεν υπάρχει κίνδυνος να πλημμυρίσει ο σταθμός ούτε από ανάντι αλλά ούτε και από άντι.

Δεν απαιτείται διάταξη προστασίας του αγωγού φυγής από υδραυλικό πλήγμα, ενώ σε όμοια περίπτωση για τον υδροστρόβιλο Francis είναι απαραίτητη η κατασκευή πύργου ανωσης.

Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι καλύτερος για ισχύ μικρότερη του 0,65 N_{max} και η συχνότητα λειτουργίας του είναι πολύ εκτεταμένη.

Η αποσυναρμολόγηση του στροβίλου είναι πολύ εύκολη.

Ελεγχόμενη και μικρότερης έντασης υπερπίεσεις στον αγωγό τροφοδοσίας κατά τα μεταβατικά φαινόμενα.

Εύκολία κατά την εν κανό πορεία του στροβίλου, για την διόρθωση του $\cos\phi$, χωρίς να απαιτείται η εκκένωση του στροβίλου.

Πλεονεκτήματα υδρ/λου Francis

Η διαθέσιμη υδραυλική πτώση είναι μεγαλύτερη, έχοντας υπόψη μας ότι ο Pelton πρέπει να τοποθετείται πάνω από την στάθμη του κάτω ταμιευτήρα.

Ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος στο κανονικό σημείο λειτουργίας και για ισχύ από 65-100% της μέγιστης ισχύος N_{max} που είναι και η συχνότερη.

Η ταχύτητα περιστροφής του Francis είναι υψηλότερη, με αποτέλεσμα οι ολικές απώλειες και το κόστος του να είναι μικρότερο. Επίσης μικρότερο είναι και το μέγεθος της εγκατάστασης και το κόστος της.

Το κόστος μελέτης του και τοποθέτησής του είναι μικρό.

Λόγω των μεγάλων ταχυτήτων και μικρών διατομών της αντίστοιχης υπό πίεσης ροής, το κόστος κατασκευής του αγωγού είναι μικρό.

Η ρύθμιση του στροβίλου Francis μέσω της στεφάνης των ρυθμιστικών πτερυγίων είναι πολύ πιο εύκολη από αυτή του Pelton, ιδιαίτερα όσον αφορά την διατήρηση της συχνότητας του σταθμού σε αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η διάβρωση στα μηχανικά μέρη του στροβίλου Francis όπως πτερωτή, λαβύρινθοι, ρυθμιστικά πτερύγια, επηρεάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά λιγότερο από ότι η φθορά των ακμών των σκαφιδίων ή της βελόνης τροφοδοσίας του Pelton. Η επιμετάλλωση ενός ρυθμιστικού πτερυγίου είναι επίσης πιο εύκολη από αυτήν ενός σκαφιδίου του Pelton.

Ο στρόβιλος Pelton χρειάζεται συχνότερους προληπτικούς ελέγχους λόγω της κόπωσης των πτερυγίων του απ'ότι χρειάζεται η αντίστοιχη πτερωτή Francis.

Συμπερασματικά τα προηγούμενα σημεία δικαιολογούν την σύγχρονη τάση: το όριο κατασκευής του υδροστροβίλου Pelton σε χαμηλότερες τιμές της διαθέσιμης υδραυλικής τάσης H δεν κατεβαίνει προς τα κάτω, ενώ αντίθετα υπάρχει τάση μετατόπισης προς χαμηλότερες τιμές του άνω ορίου του H κατασκευής υδροστροβίλων Francis. Τα χαρακτηριστικά των υδροστροβίλων Francis φαίνονται να είναι περισσότερα καθοριστικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΘΥΡΕΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ

Θύρες υδροληψίας

1 Έλεγχος θύρας και εξαρτήματα λειτουργίας

Οι θύρες υδροληψίας αποτελούνται από τρία ξεχωριστά φρεάτια που το καθένα έχει μια πόρτα υλιόμενους τροχούς.

Η λειτουργία της κάθε πόρτας στηρίζεται στην λειτουργία ενός σερβομοτέρ απλής λειτουργίας που συνδέεται με την πόρτα με μια σειρά από μεταλλικά δοκάρια..

Στην κορυφή κάθε φρεατίου και στο υψομ. 130,10 βρίσκεται ο πίνακας ελέγχου που ελέγχει τη λειτουργία κάθε θύρας μέσω κάποιου χειριστηρίου.

Κάθε μονάδα ελέγχου (πίνακας) βρίσκεται στην κορυφή κάθε ενός πηγαδιού στο υψομ. 130,10 όπως επίσης και μια ηλεκτροκίνητη αντλία που περιλαμβάνει εξαρτήματα διανομής λαδιού ασφαλείας. Επίσης στον ίδιο χώρο βρίσκεται και μια χειροκίνητη αντλία ανοίγματος. Η απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορέσει να ανοίξει μια από τις τρεις θύρες είναι η πίεση του υδραυλικού υγρού και από τις δύο πλευρές της θύρας να είναι ίσες.

Η πόρτα κλείνει αυτό επιτυγχάνεται με το άνοιγμα δύο δικλείδων οι οποίες είναι εγκατεστημένες πάνω σε κάθε πόρτα, οπότε γίνεται και η πλήρωση του αγωγού. Το σερβομοτέρ που είναι υπεύθυνο και για το άνοιγμα των θυρών είναι υπεύθυνο και για το άνοιγμα των δικλείδων. Έτσι σύμφωνα με το παραπάνω γίνεται σαφές ότι το άνοιγμα των δικλείδων γίνεται πριν να αρχίσει να ανοίγει η πόρτα.

Η πόρτα μπορεί να σταματήσει σε οποιαδήποτε ενδιάμεση θέση με το πάτημα ενός κουμπιού που βρίσκεται στον πίνακα ελέγχου των θυρών.

Η πόρτα μπορεί να παραμείνει σταθερή πλήρως ή μερικώς ανοιχτή με την βοήθεια βανών που βρίσκονται στους σωλήνες που φέρνουν το λάδι στο χώρο του κυλίνδρου κάτω από το άνοιγμα του σερβομοτέρ.

Κατά την διάρκεια όπου η πόρτα είναι πλήρως ανοιχτή λόγω διαρροών λαδιού από τις αρθρώσεις ή τις συνδέσεις των σωληνών, η πόρτα μπορεί να μετακινηθεί για λίγο προς τα κάτω. Η λειτουργία να αποφύγουμε το κλείσιμο της πόρτας υπάρχει ένας μηχανισμός ελέγχου που ξαναανεβάζει την πόρτα στην αρχική της θέση.

2 Λειτουργία θύρας υδροληψίας

Άνοιγμα πόρτας:

Για να γίνει η εξαίρεση τις δικλείδες 12 και 16 όπου είναι κλειστές, όλες οι άλλες δικλείδες του κυκλώματος είναι ανοιχτές.

Η λειτουργία την ήτλη της ηλεκτροβάνας 7 είναι διεγερμένο πράγμα που σημαίνει ότι το κύκλωμα λαδιού που ελέγχει πίεση αφού η ηλεκτροβάνα 7 είναι κλειστή. Η βάνα 11 παραμένει κλειστή λόγω των υδραυλικών δυνάμεων που ενεργούν και στις δύο πλευρές του διαφορικού της εμβόλου αφού ο κύκλωμα 21 βρίσκεται υπό πίεση (βάνα 7 κλειστή).

Η λειτουργία εντολή ανοίγματος της πόρτας θέτει σε λειτουργία την αντλία. Το λάδι που φιλτράρεται από τον εισόδο με το φίλτρο 3 οδηγείται μέσω της ανεπίστροφης βάνας 4 στο κάτω μέρος του

βομοτέρ μέσω του σωλήνα εισόδου και της βάνας 11. Το έμβολο κινείται προς τα επάνω και εί μια πίεση στο λάδι το οποίο βρίσκεται στο επάνω μέρος του εμβόλου και το κατευθύνει στην δεξαμενή λαδιού. Κατά αυτόν τον τρόπο ανοίγουν οι δύο δικλείδες προπληρώσεως αγωγού πτώσεως. Μετά από μια διαδρομή του εμβόλου περίπου 235 mm η αντλία σταματάει με μια επαφή που βρίσκεται στο μηχανισμό ελέγχου των οριακών επαφών και το έμβολο του σερβομοτέρ παραμένει στην θέση αυτή μέχρι να γεμίσει ο αγωγός.

Μετά το γέμισμα του αγωγού εξισώνονται οι πιέσεις του νερού και στις δύο επιφάνειες της πόρτας και μία πιεζομετρική επαφή που βρίσκεται από την πλευρά του αγωγού ξεκινά να κινείται την αντλία και ανοίγει την πόρτα με ταχύτητα 0,40 m/min κάτω από τον έλεγχο της πιεζομετρικής επαφής 5. Η επαφή αυτή έχει ρυθμιστεί στο εργοστάσιο για μια ορισμένη πίεση ώστε η πίεση του λαδιού να μην υπερβαίνει τα 105bar. Η επαφή αυτή ανοίγει κάθε φορά την πόρτα όταν η πίεση του λαδιού φτάσει τα 105bar και σταματάει την αντλία.

Κλείσιμο πόρτας:

Το κλείσιμο της πόρτας στηρίζεται στην βαρύτητα, με τις βάνες 12 και 16 που στην αρχή είναι κλειστές, με όλες τις άλλες βάνες του κυκλώματος που είναι ανοιχτές και με το πηνίο της ηλεκτροβάνας 7 που αυτοδιεγείρεται για να κλείσει η πόρτα.

Η εντολή κλεισίματος προκαλεί την αποδιέγερση του πηνίου της ηλεκτροβάνας 7. Το κύκλωμα λαδιού της βάνας 11 ανοίγει και έτσι ανοίγει και η βάνα με αποτέλεσμα το κύκλωμα να αποφορτίζεται. Η βάνα 11 που χρησιμοποιείται για το κλείσιμο της πόρτας είναι τύπου πλωτάρι με χαμηλή πίεση λαδιού. Η βάνα όταν ανοίγει φέρνει σε επικοινωνία τα κύκλωμα λαδιού 22 και 19 και με την ενέργεια των υδραυλικών δυνάμεων που ενεργούν και στις δύο επιφάνειες του εμβόλου της όταν η οδηγός γραμμή του λαδιού 21 βρίσκεται σε εκφόρτιση, πράγμα που επιτυγχάνεται με το άνοιγμα της ηλεκτροβάνας προς την πλευρά της άνω ροής. Το διαφορικό έμβολο της βάνας 11 του οποίου η πλευρά με την μικρή διατομή κινείται την πίεση από το κάτω μέρος του σερβομοτέρ και η άλλη πλευρά με την μεγαλύτερη διατομή από την πίεση που υπερισχύει στο σωλήνα 21, έχει μια οπή που συνδέει τους δύο χώρους, έτσι ώστε όταν ο σωλήνας 21 είναι σε εκφόρτιση δημιουργείται μια ροή δια μέσο του εμβόλου που προκαλεί διαφορά στις υδραυλικές δυνάμεις που ενεργούν στις δύο πλευρές του, με αποτέλεσμα να προκαλείται κίνηση του εμβόλου προς άνοιγμα. Κατά το κλείσιμο της πόρτας το λάδι από το κάτω μέρος του σερβομοτέρ οδηγείται στον πάνω χώρο του, μέσω της κλεισμένης βάνας 11 και του σωλήνα 19 που συνδέει τους δύο χώρους. Το περίσσειμα του λαδιού που αντιστοιχεί στον όγκο του βάρους του εμβόλου του σερβομοτέρ οδηγείται στη δεξαμενή λαδιού μέσω του σωλήνα 21. Έτσι ο επάνω χώρος του σερβομοτέρ θα είναι πάντοτε γεμάτος λάδι.

Ο χρόνος κλεισίματος καθορίζεται από την βάνα 11, της οποίας το άνοιγμα ρυθμίζεται με ένα ελαστικό κοιλία που έχει προβλεφθεί για αυτή την δουλειά.

Μετά το κλείσιμο της πόρτας και λίγο πριν το πλήρες κλείσιμο των δικλείδων προπληρώσεως, η αντλία τροφοδοτείται το πηνίο της ηλεκτροβάνας 7 ύστερα από μια μικρή καθυστέρηση με την επαφή του μηχανισμού των οριακών επαφών της πόρτας.

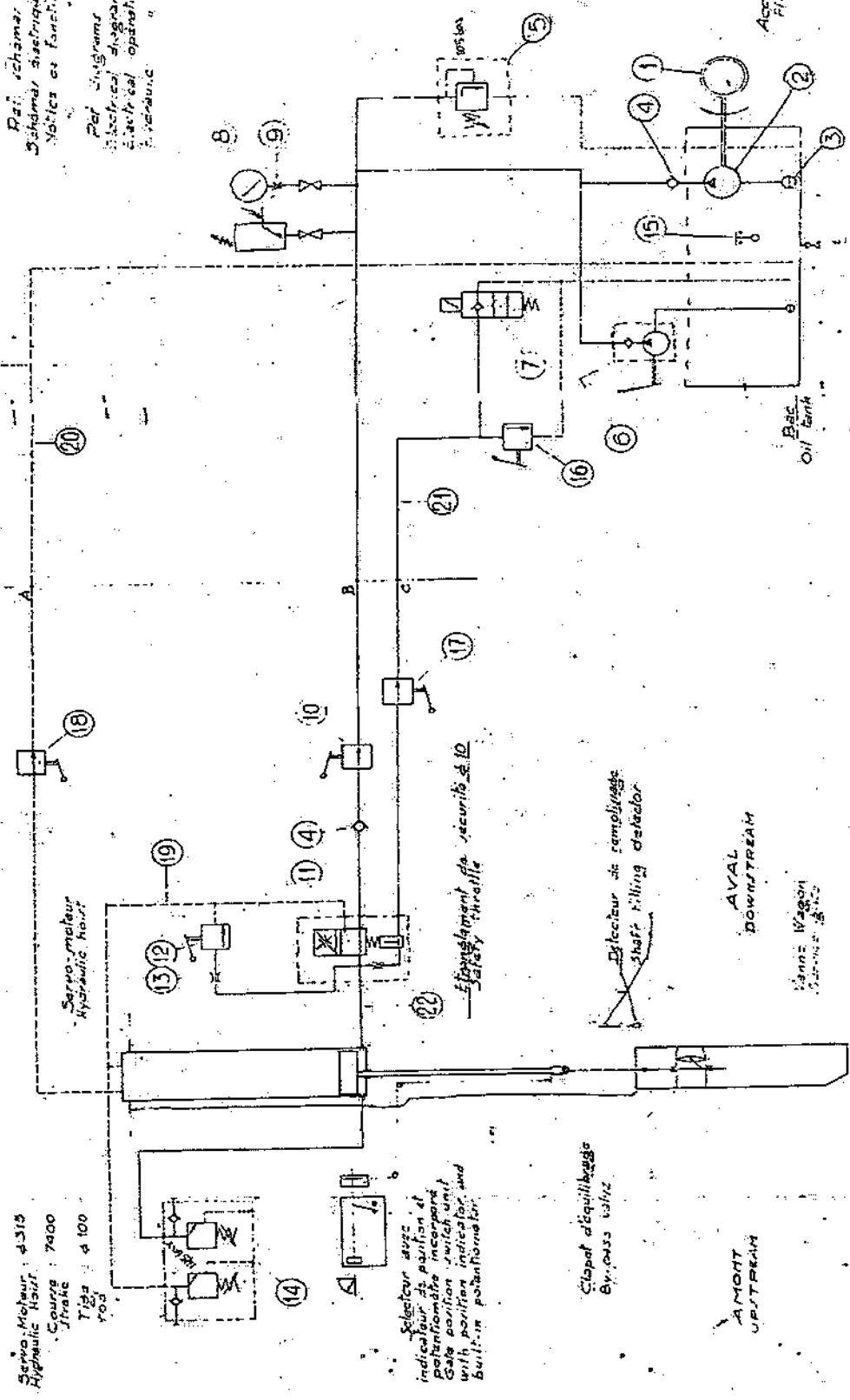
Το αυτόματο κλείσιμο της πόρτας μπορεί να προκληθεί από τις εξής αιτίες:

• από απώλεια του κυκλώματος ελέγχου

• από επαφή ελέγχου στάθμης νερού στο εργοστάσιο

• από τις δύο περιπτώσεις προκαλούν την απομόνωση της ηλεκτροβάνας 7.

Plan schéma: of notice
 Schéma électrique 308373 et 308374
 Schéma de fonctionnement électrique
 hydraulique
 Plan Diagrams and notes:
 Electrical diagram 308373 and 308374
 Electrical operating note:
 Hydraulique



Accouplement électrique
 Electrical coupling

Servo-Moteur : 4315
 Hydraulic motor : 7400
 Course : 7400
 Tige : 4100
 rod

Sélecteur avec
 indicateur de position et
 potentiomètre incorporé
 Gate position switch unit
 with position indicator and
 built-in potentiometer

Clapet d'équilibrage
 By-pass valve

Détection de remplissage
 Shaft filling detector

AVAL
 DOWNSTREAM

AMONT
 UPSTREAM

Σχ 9.1 Υδραυλικό διάγραμμα

15	Low level float switch Πλωτήρας ένδειξης χαμηλής στάθμη
14	Overpressure limiter ser at 145 bar Όριο υπερπίεσης στα 145bar
13	Permanent safety restrictor Διαστενοτικό
12	By-pass valve Βαλβίδα παράκαμψης
11	Exhaust valve Βαλβίδα απαγωγής
10	Isolating valve Βαλβίδα απομόνωσης
9	Pressure damper Αποσβεστήρας πίεσης
8	Pressure gange rectangulaire dial. Μανόμετρο
7	Solenoid-actuated distributing valve 220 D.C Σωληνοειδής βαλβίδα διανομής 220 D.C
6	Hand pump Χειροκίνητη αντλία
5	Pressure limiter at 105bar Ασφαλιστικό όριο πίεσης στα 105bar
4	Non return valve Ανεπίστροφη βαλβίδα
3	Suction filter Φίλτρο αναρρόφησης
2	Vane pump Βάνα αντλίας
1	Electric motor 7.5KW 1500rev/min Ηλεκτρικό μοτέρ 7.5KW 1500rev/min
ΠΟΥΡΝΑΡΙ	
<i>ΘΥΡΑ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ</i>	
<u>ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ</u>	
<u>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ 4.5M X 7M</u>	

3 Αυτόματο σύστημα διατηρήσεως της πόρτας σε θέση ανοιχτή.

Όταν η πόρτα είναι τελείως ανοιχτή λόγω διαρροών λαδιού του υδραυλικού συστήματος ή τσιμουχών του κυλίνδρου, η πόρτα σιγά-σιγά κλείνει. Σ' αυτή την περίπτωση μετά από σιμο περίπου 10cm κλείνει μια επαφή στο μηχανισμό οριακών επαφών που ξεκινάει την λία λαδιού και ανοίγει πάλι η πόρτα στο πλήρες άνοιγμά της.

Σε περίπτωση που δεν δουλέψει το παραπάνω σύστημα και η πόρτα εξακολουθεί να βγαίνει πέρα από τα όρια των 10 cm μία άλλη επαφή του μηχανισμού οριακών επαφών δίνει ανση στην αίθουσα ελέγχου του σταθμού.

4 Χειροκίνητος έλεγχος

Άνοιγμα

Το άνοιγμα γίνεται κανονικά με την μόνη διαφορά, ότι η πίεση του λαδιού εξασφαλίζεται την χειροκίνητη αντλία 6. Σε αυτή την περίπτωση η αντλία θα ανοίξει με 0,01 m/min που.

Κλείσιμο

Το κλείσιμο επιτυγχάνεται με χειροκίνητη επέμβαση στην παρακαμπτήριο βάνα 12 και το οδηγείται από τον κάτω στον πάνω χώρο το σερβομοτέρ διά του ανοίγματος 13 με το ο επίσης ρυθμίζεται η ταχύτητα ελέγχου.

ονικό κλείσιμο ελέγχου από την βάνα 11 μπορεί να επιτευχθεί χειροκίνητα δι' ενεργείας επί βάνας 16, στην παρακαμπτήριο 7 και με εκφόρτιση του λαδιού στο σωλήνα 21 της βάνας

5 Κάθοδος με πίεση

Το βάρος του εμβόλου με το βάκτρο δυνατόν να μην είναι ικανό για υπερνικήσει τις ές. Για να παρακαμφθεί αυτό, δημιουργείται συγχρόνως πίεση και στους δύο χώρους του ομοτέρ με την αντλία λαδιού στην οποία δίνουμε κανονική εντολή ανοίγματος και με την ακαμπτήριο βάνα 12 ανοιχτή και τη βάνα 18 στο σωλήνα επιστροφής στη δεξαμενή στη.

αφορά διατομής στις δύο πλευρές του εμβόλου δημιουργεί μια διαφορά δυνάμεως που γεί προς τα κάτω και έτσι ωθεί και κατεβάζει το έμβολο και το βάκτρο του.

ι τα παραπάνω μπορούν να γίνουν όταν γίνεται αποσυναρμολόγηση των δοκαριών τήσεως της πόρτας, όταν αυτή δεν είναι πλέον συνδεδεμένη με το σερβομοτέρ.

6 Λειτουργία συσκευής περιορισμού 14

Η συσκευή αυτή περιορίζει κάθε υπερπίεση που μπορεί να δημιουργηθεί μέσα από υλικό κύκλωμα και στο σερβομοτέρ.

συσκευή είναι εξοπλισμένη με ελαστικούς σωλήνες με ταχυσυνδέσμους και έτσι μπορεί να εύκολα καθαρισμός του υδραυλικού κυκλώματος.

σύστημα αυτό μπορεί εύκολα να συνδεθεί με ειδικούς συνδέσμους μανόμετρο για την ηση των πιέσεων στο υδραυλικό σύστημα.

7 Μηχανισμοί προστασίας

Στην δεξαμενή λαδιού υπάρχει ο πλωτήρας 15, που σε περίπτωση πτώσεως της στάθμης και επαφή του διακόπτει το κύκλωμα ελέγχου ανοίγματος της πόρτας.

Αυξηθεί η πίεση του λαδιού, λόγω μη λειτουργίας του ορίου διαδρομής ανοίγματος, αν και εμβόλο έφτασε στο μηχανικό στοπ η πιεζοστατική επαφή 17 θα δώσει:

-Σήμανση στην τοπική και στην αίθουσα ελέγχου

-Σταμάτημα του κινητήρα.

8 Υδραυλικοί υπολογισμοί

8.1 Δυνάμεις

Περίπτωση φόρτισης σύμφωνα με DIN 19704	NB	BB	AL
Μέγιστη ισχύς κυλίνδρου	280	0	0 KN
Μέγιστη πίεση κυλίνδρου	25	0	0 KN
Μέγιστη παραμένουσα δύναμη	36	0	0 KN
Ποσοστό απόδοσης κυλίνδρου	0,92	0,00	0,00
Ποσοστό ασφαλείας σε λυγισμό		5,00	

Απόδοση μονάδας – Βάκτρο πιστονιού 550 KN

Απόδοση μονάδας – Βάκτρο σύνδεσης πιστονιού 320 KN

8.2 Γεωμετρία

Μεταδρομή λειτουργίας του εμβόλου κυλίνδρου	5100 mm
Ολική διαδρομή εμβόλου κυλίνδρου	5460 mm
Μεταδρομή εμβόλου επί της ελαστικής εφαρμογής	0 mm
Μεταδρομή εμβόλου επί της θύρας	0 mm
Μεταδρομή εμβόλου επί της θύρας ανά λεπτό	0 mm

8.3 Ταχύτητες

Χρόνος μετακίνησης	- ανύψωση θύρας	1,5 min
	-κλείσιμο θύρας	10 min

8.4 Υπολογισμός κυλίνδρου

Διάμετρος κυλίνδρου	
Διάμετρος πιστονιού	$D = 180 \text{ mm}$
Εμβαδόν πιστονιού	$A_k = 2.5447 \text{ dm}^2$
Διάμετρος διωστήρα	$d = 80 \text{ mm}$
Εμβαδόν διωστήρα	$A_{st} = 0.5027 \text{ dm}^2$
Εμβαδόν κύκλου	$A_r = 2.0420 \text{ dm}^2$
Μεταδρομή εμβόλου	$H = 5100 \text{ mm}$

συνολική διαδρομή εμβόλου	$H_t = 5460 \text{ mm}$
βαθμός απόδοσης κυλίνδρου	$h_z = 0.92$
πίεση κυλίνδρου	$P = 149 \text{ bar}$

3.5 Υπολογισμός αντλίας

Συνολική ποσότητα λαδιού – ανύψωση θύρας

$$Q_e = A_r \cdot H / t$$

$$\Rightarrow Q_e = 2.0420 \cdot 5100 / 10 \quad (8.30)$$

$$\Rightarrow Q_e = 10.41 \text{ l / min.}$$

Ανύψωση θύρας υδροληψίας με την αντλία P1

επιλεγμένη αντλία	P1: 2 X 2 X QT 23-005
επιχειρησιακή παραγωγή	$q = 5.1 \text{ cm}^3 / \text{u}$
επιχειρησιακή πίεση	$p_d = 250 \text{ bar}$
μέγιστη πίεση	$p_p = 330 \text{ bar}$
βαθμός απόδοσης	$h_v = 0.91$
συνολικός βαθμός απόδοσης	$h_g = 0.83$

συνολική παροχή $Q_1 = q \cdot n / 1000 \cdot n_v = 13.2 \text{ l / min}$

ταχύτητα εμβόλου – Ανύψωση θύρας $= 0.510 \text{ m / min}$

μέγιστη ταχύτητα εμβόλου – ανύψωση θύρας $V_k = Q_1 / A_r = 0.645 \text{ m / min}$

χρόνος μετακίνησης - ανύψωση θύρας $= 1,500 \text{ min}$

- κλείσιμο θύρας $= 10,000 \text{ min}$

μέγιστος χρόνος μετακίνησης - κλείσιμο θύρας

$$t = A_r \cdot H / Q_1$$

$$\Rightarrow t = 2.0420 \cdot 5100 / 13.2 \quad (8.31)$$

$$\Rightarrow t = 9.90 \text{ l / min.}$$

3.6 Υπολογισμός απωλειών πίεσης

παρακάτω υπολογισμοί αναφέρονται για λάδι θερμοκρασίας 0°C .

τύπος του λαδιού είναι: SHELL Tellus 23.

μέγιστη θερμοκρασία ροής $= -30^\circ\text{C}$

σημείο καύσης $= 215^\circ\text{C}$

πυκνότητα $\delta = 0.870 \text{ kg/l}$

συντελεστή ιξώδους $0^\circ\text{C} = 300.0 \text{ mm/s}$

$40^\circ\text{C} = 32.0 \text{ mm/s}$

$100^\circ\text{C} = 5.5 \text{ mm/s}$

Απώλειες πίεσης στον υδραυλικό εξοπλισμό:

Κλείσιμο θύρας $p_1 = 5,0 \text{ bar}$
Ανύψωση θύρας $p_2 = 5,0 \text{ bar}$

Δίκτυο σωληνώσεων: Αύξηση πίεσης.

$\Phi = 20,0$	2.0mm	$d_i = 16\text{mm}$	$A_r = 2011\text{cm}^2$	$L = 5\text{m}$	$Q = 13.3\text{l/min}$
---------------	-------	---------------------	-------------------------	-----------------	------------------------

Ταχύτητα λαδιού	$V_r = 0.1667 * Q / A_r = 1.10 \text{ m/s}$
Αριθμός Reynold	$Re = 1000 * V_r * d_i / \nu = 59 < 2300$
Απόσταση	$l_a = 64 / Re = 1.088$
Απώλειες πίεσης	$p_3 = 50 * l_a * V_r^2 * \delta * L / g / d_i = 1.8 \text{ bar}$

Δίκτυο σωληνώσεων: Υποβιβασμός πίεσης.

$\Phi = 38,0$	3,0mm	$d_i = 32\text{mm}$	$A_r = 8.042\text{cm}^2$	$L = 10\text{m}$	$Q = 16.4\text{l/min}$
---------------	-------	---------------------	--------------------------	------------------	------------------------

Ταχύτητα λαδιού	$V_r = 0.1667 * Q / A_r = 0.34\text{m/s}$
Αριθμός Reynold	$Re = 1000 * V_r * d_i / \nu = 36 < 23000$
Απόσταση	$l_a = 64 / Re = 1.763$
Απώλειες πίεσης	$p_4 = 50 * l_a * V_r^2 * \delta * L / g / d_i = 0.3\text{bar}$

Δίκτυο σωληνώσεων: Υποβιβασμός.

$\Phi = 38,0$	3,0mm	$d_i = 32\text{mm}$	$A_r = 8.042\text{cm}^2$	$L = 5\text{m}$	$Q = 69.4\text{l/min}$
---------------	-------	---------------------	--------------------------	-----------------	------------------------

Ταχύτητα λαδιού	$V_r = 0.1667 * Q / A_r = 1.44\text{m/s}$
Αριθμός Reynold	$Re = 1000 * V_r * d_i / \nu = 154 < 2300$
Απόσταση	$l_a = 64 / Re = 0.417$
Απώλειες πίεσης	$p_5 = 50 * l_a * V_r^2 * \delta * L / g / d_i = 0.3\text{bar}$

Δίκτυο σωληνώσεων: Σωλήνας αναρρόφησης.

$\Phi = 38,0$	3,00mm	$d_i = 32\text{mm}$	$A_r = 8.042\text{cm}^2$	$L = 10\text{m}$	$Q = 17.1\text{l/min}$
---------------	--------	---------------------	--------------------------	------------------	------------------------

Ταχύτητα λαδιού	$V_r = 0.1667 * Q / A_r = 0.35\text{m/s}$
Αριθμός Reynold	$Re = 1000 * V_r * d_i / \nu = 38 < 2300$
Απόσταση	$l_a = 64 / Re = 1.694$
Απώλειες πίεσης	$p_6 = 50 * l_a * V_r^2 * \delta * L / g / d_i = 0.3\text{bar}$

Ολικές απώλειες πίεσης στον υδραυλικό εξοπλισμό

-Απώλειες κατά το κλείσιμο της θύρας υδροληψίας
 $p = p_1 + p_5 + p_6 = 5.9\text{bar}$ (8.32)

-Απώλειες κατά την ανύψωση της θύρας υδροληψίας
 $p = p_2 + p_3 + p_4 = 7.1\text{bar}$ (8.33)

3.7 Υπολογισμός δυνάμεων

πίεση αντλίας	-κλείσιμο θύρας	$p_a = 0 \text{ bar}$
	-ανύψωση θύρας	$p_e = 156 \text{ bar}$
πίεση		$p = 175 \text{ bar}$

κινητήρας M1:

μέγεθος	100L
ισχύς	$N = 3 \text{ KW}$
απόδοση κινητήρα	$h = 1420 \text{ l/min}$

3.8 Σύνολο ασφαλιστικών της μονάδας

ακουφιστική βαλβίδα πίεσης	13	$p = 175 \text{ bar}$
ακουφιστική βαλβίδα πίεσης	23	$p = 175 \text{ bar}$
ακόπτης πίεσης	12	$p = 170 \text{ bar}$
ακόπτης πίεσης	9,1	$p = 20 \text{ bar}$
ακόπτης πίεσης	9,2	$p = 20 \text{ bar}$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Ρυθμιστικές μετρήσεις για την μονάδα Francis.

περίπτωση του υδρ/λου Francis του ΥΗΣ του Πουρναριού μεταβάλλαμε το άνοιγμα των ρυθμιστικών πτερυγίων από 50% έως 86% και καταγράψαμε τις αντίστοιχες τιμές της παροχής ισχύος εξόδου που προέκυψαν.

θυμίζουμε ότι η πίεση στην είσοδο του Francis κυμαίνεται στα 148 bar και το διαθέσιμο πτώσης $H=150$ m ΣΥ.

τιμές αυτές τις τοποθετήσαμε σε πίνακα και στη συνέχεια κατασκευάσαμε Τρία άμματα:

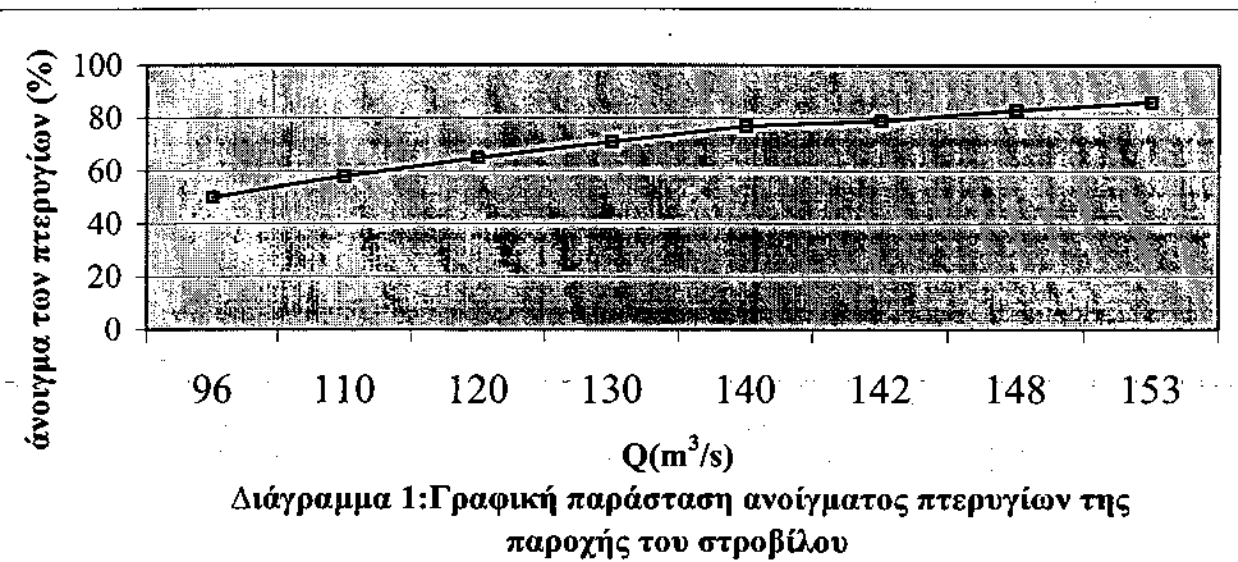
$$\text{άνοιγμα πτερυγίων \%} = f(Q)$$

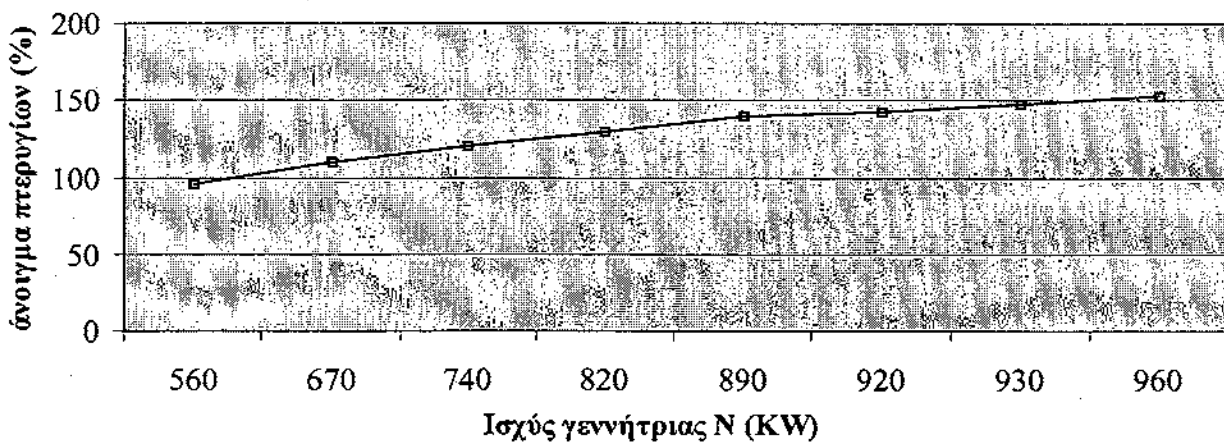
$$\text{άνοιγμα πτερυγίων \%} = f(N)$$

$$Q = F(N)$$

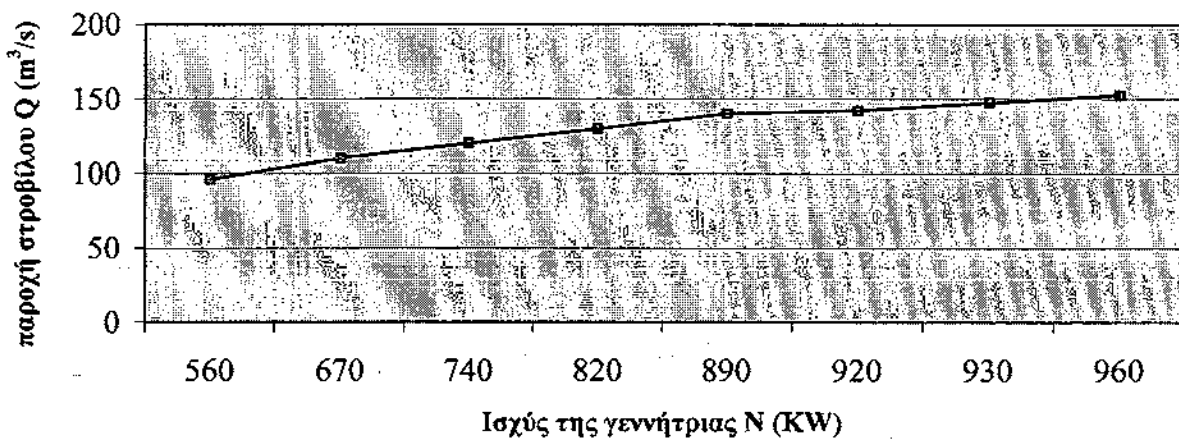
τύτητα περιστροφής του Francis είναι σταθερή με την τιμή $n=1000$ rpm.

a/a	άνοιγμα ρυθμιστικών πτερυγίων (%)	στιγμιαία ισχύς της γεννήτριας N (KW)	Παροχή νερού στο στρόβιλο Q (m ³ /s)
1	50	560	96
2	58	670	110
3	65	740	120
4	71	820	130
5	77	890	140
6	79	920	142,2
7	83	930	147,5
8	86	960	152,5





Διάγραμμα 2: Γραφική παράσταση του ανοίγματος πτερυγίων συναρτήσει της στιγμιαίας ισχύος της γεννήτριας



Διαγραμμα 3: Γραφική παράσταση της παροχής του στροβίλου της ισχύος της γεννήτριας

ΣΥΛΛΟΓΗ

Όπως παρατηρούμε και οι τρεις γραφικές παραστάσεις είναι αύξουσες κατά προσέγγιση από ευθείες γραμμές. Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι όσο αυξάνεται η ποσότητα του νερού που περνάει από τα ρυθμιστικά πτερώγια αυξάνει η παροχή του υδρ/λου Francis και συνεπεία ανάλογα με την παροχή η ισχύς εξόδου N.

Πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι κάποια μικρά (γόνατα) στις γραφικές παραστάσεις οφείλονται πιθανώς σε σφάλματα κατά τις πειραματικές μας μετρήσεις.

ΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ FRANCIS-ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

βαθμός απόδοσης του υδρ/λου Francis υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκε ο βαθμός απόδοσης του Pelton για κάθε τιμή της στιγμιαίας ισχύς N δηλαδή από τη γνωστή σχέση $N=Q \cdot H \cdot \eta$ όπου $H=1500m$.

Παρασκευάζουμε λοιπόν:

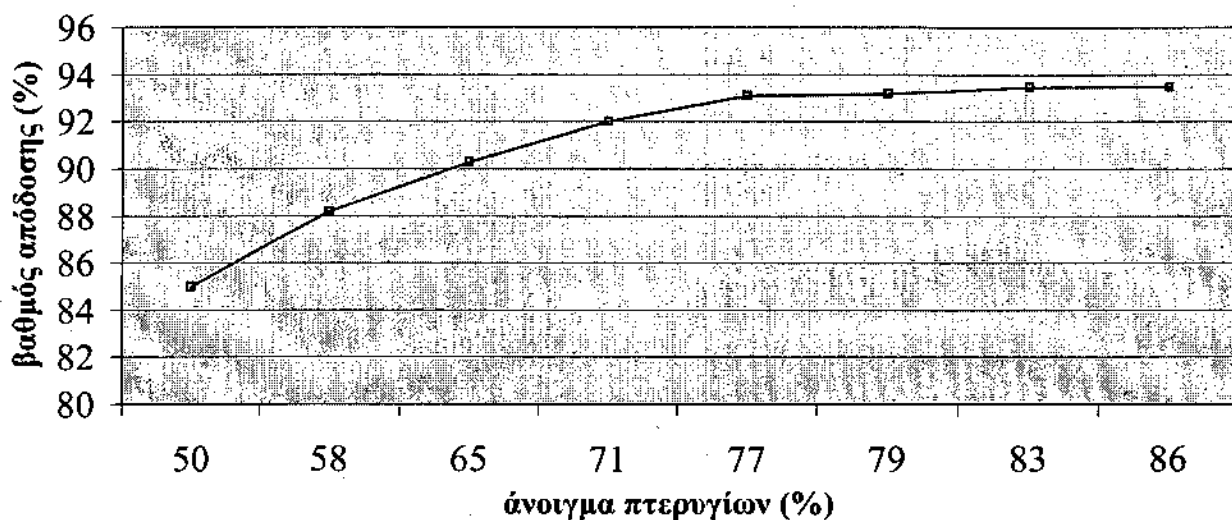
85%
88,2%
90,3%
92%
93,1%
93,2%
93,5%
93,5%

Παρασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα:

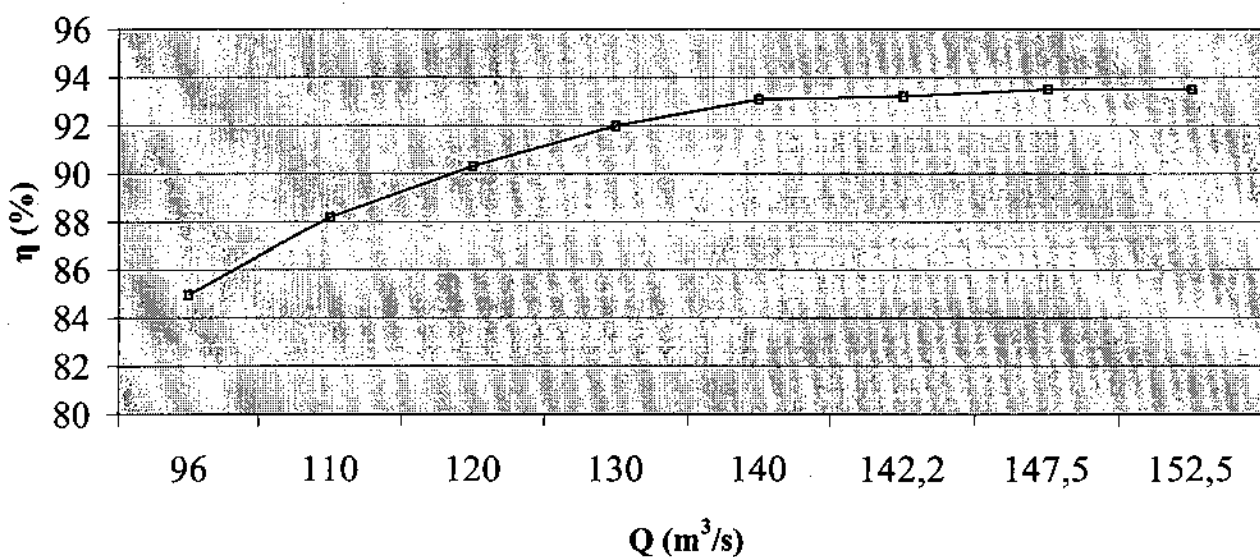
a/a	άνοιγμα ρυθμιστικών πτερυγίων (%)	στιγμιαία ισχύς της γεννήτριας N (KW)	Παροχή νερού στο στρόβιλο Q (m ³ /s)	Βαθμός απόδοσης συστήματος στροβίλου γεννήτριας η (%)
1	50	560	96	85
2	58	670	110	88,2
3	65	740	120	90,3
4	71	820	130	92
5	77	890	140	93,1
6	79	920	142,2	93,2
7	83	930	147,5	93,5
8	86	960	152,5	93,5

Από τον πίνακα κατασκευάζουμε τρία νέα διαγράμματα:

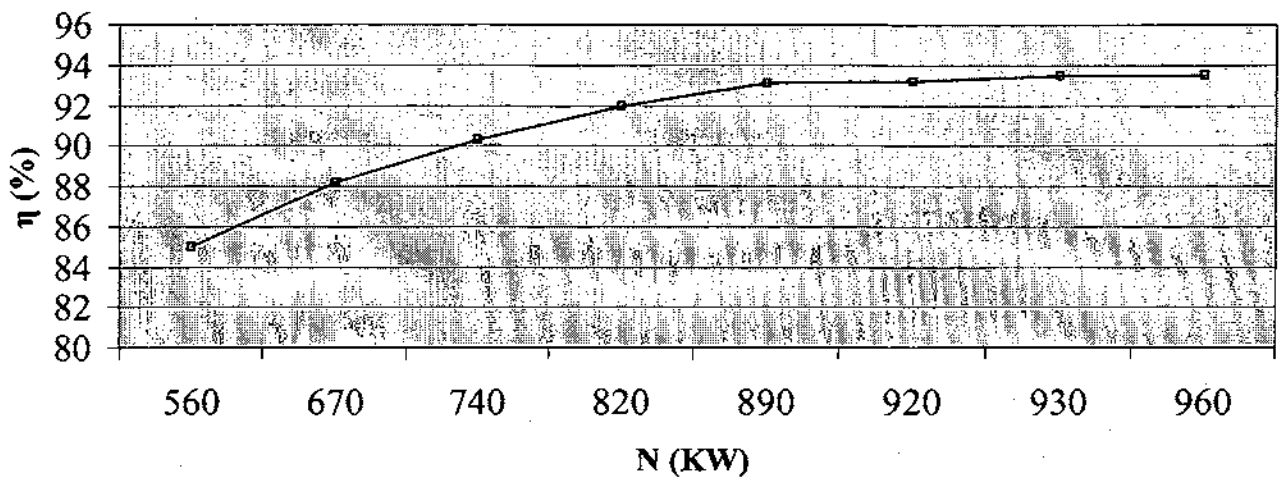
$\eta = f(Q)$
 $\eta = f(N)$
 $\eta = f(A\%)$



Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση βαθμού απόδοσης του συστήματος στροβίλου γεννήτριας συναρτήσει του ανοίγματος πτερυγίων



Διάγραμμα 5: Γραφική παράσταση βαθμού απόδοσης στροβίλου-γεννήτριας συναρτήσει της παροχής του στροβίλου



Διάγραμμα 6: Γραφική παράσταση του βαθμού απόδοσης στροβίλου-γεννήτριας συναρτήσει της ισχύος γεννήτριας

ΛΙΑ

περίπτωση του Francis έχουμε μεγαλύτερες τιμές βαθμών απόδοσης. Τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης συναρτήσει των $Q.N.A\%$ προκύπτουν όπως και στο Pelton αύξουσες πρώτες μέχρι ενός ορισμένου σημείου (κρίσιμο σημείο λειτουργίας). Από το σημείο αυτό μετά οι καμπύλες φθίνουν προς τα κάτω.

Το σημείο όπου έχουμε μέγιστο βαθμό απόδοσης οι υδραυλικές απώλειες κρούσεως $\delta h_a=0$ δηλαδή ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης είναι μέγιστος και κατά συνέπεια ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι μέγιστος.

Το σημείο λειτουργίας στο οποίο ισχύει $\delta h_a=0$ η γωνία β_{1w} της σχετικής ταχύτητας ροής είναι ίση με την κλίση των ρυθμιστικών πτερύγιων B_1 ενώ η παροχή Q καλείται $Q_{optimum}$.

αίο δελτίο λειτουργίας του σταθμού του Πουρναριού.

Πρόκειται να θέσουμε ένα μηνιαίο δελτίο που αναφέρεται στην παραγωγή ενέργειας του συγκροτήματος καθώς και στη παραγωγή ενέργειας από την κάθε μονάδα.

Πρώτα υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης του συγκροτήματος και των επιμέρους μονάδων (Pelton, Francis).

Για τον Ιούνιο :

Όγκος νερού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή: $1.426.800 m^3$

Παραγωγή μονάδας Pelton: 400.175 KWh

Παραγωγή μονάδας Francis: 28.617 KWh

Συνολική παραγωγή: 428.892 KWh

Βαθμός απόδοσης συγκροτήματος : $n = \frac{36697 * E_{tot}}{W_{pr} * H} (\%)$

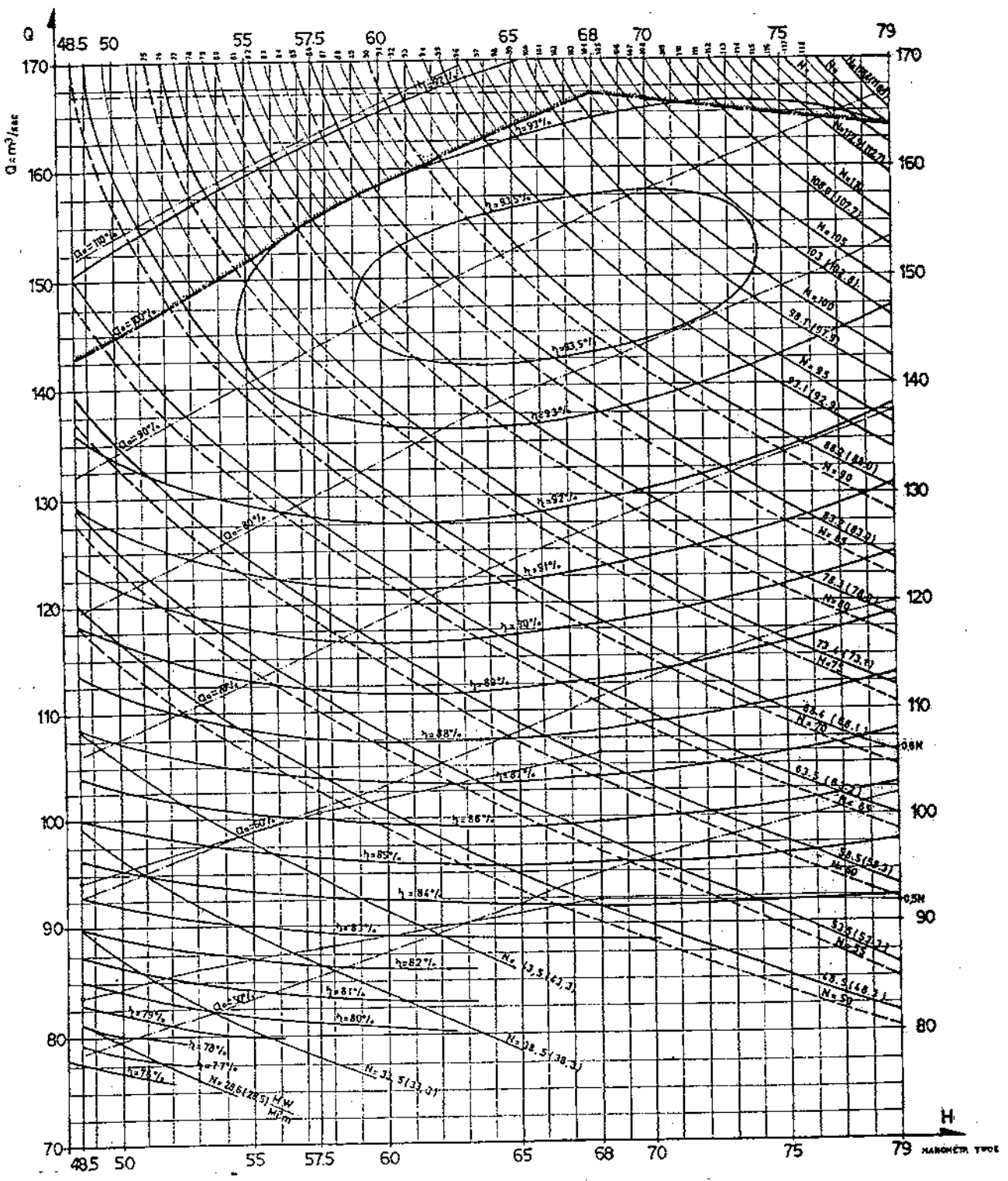
E_{tot} = Συνολική παραγωγή ενέργειας (KWh)

W_{pr} = Όγκος του νερού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή (m^3)

Μέσος ύψος πτώσεως νερού κατά την περίοδο T₀. H=146m

$$6697 * \frac{428892KWh}{146m * 1.426.800m^3} = 75,57\%$$

Όγκος νερού για παραγωγή (m ³)	Ειδική κατανάλωση (m ³ /KWh)	Βαθμός απόδοσης στροβίλου-γεννήτριας (%)
P 1.335.100	3.34	76
F 91.700	3.20	79



ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ $D_1 = 4,25 \text{ m}$
 ΣΤΡΟΦΕΙΣ $n = 150 \text{ r.p.m.}$

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ, m

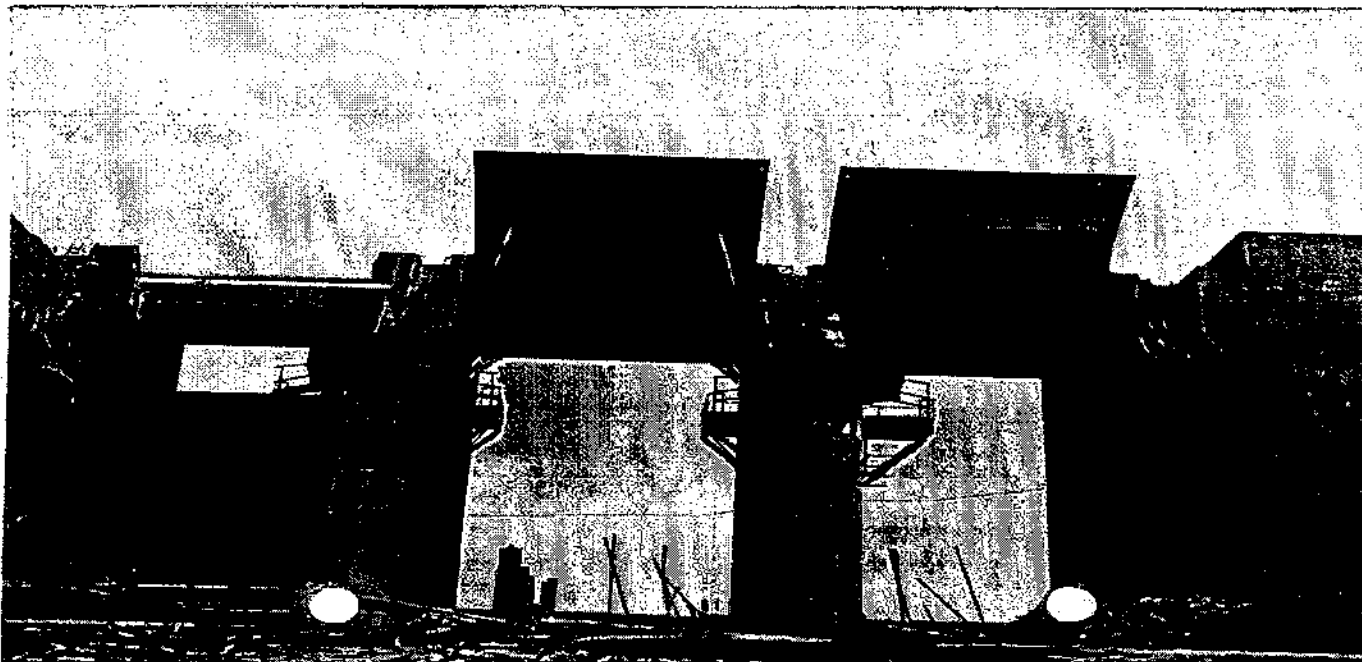
ΟΡΙΟ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

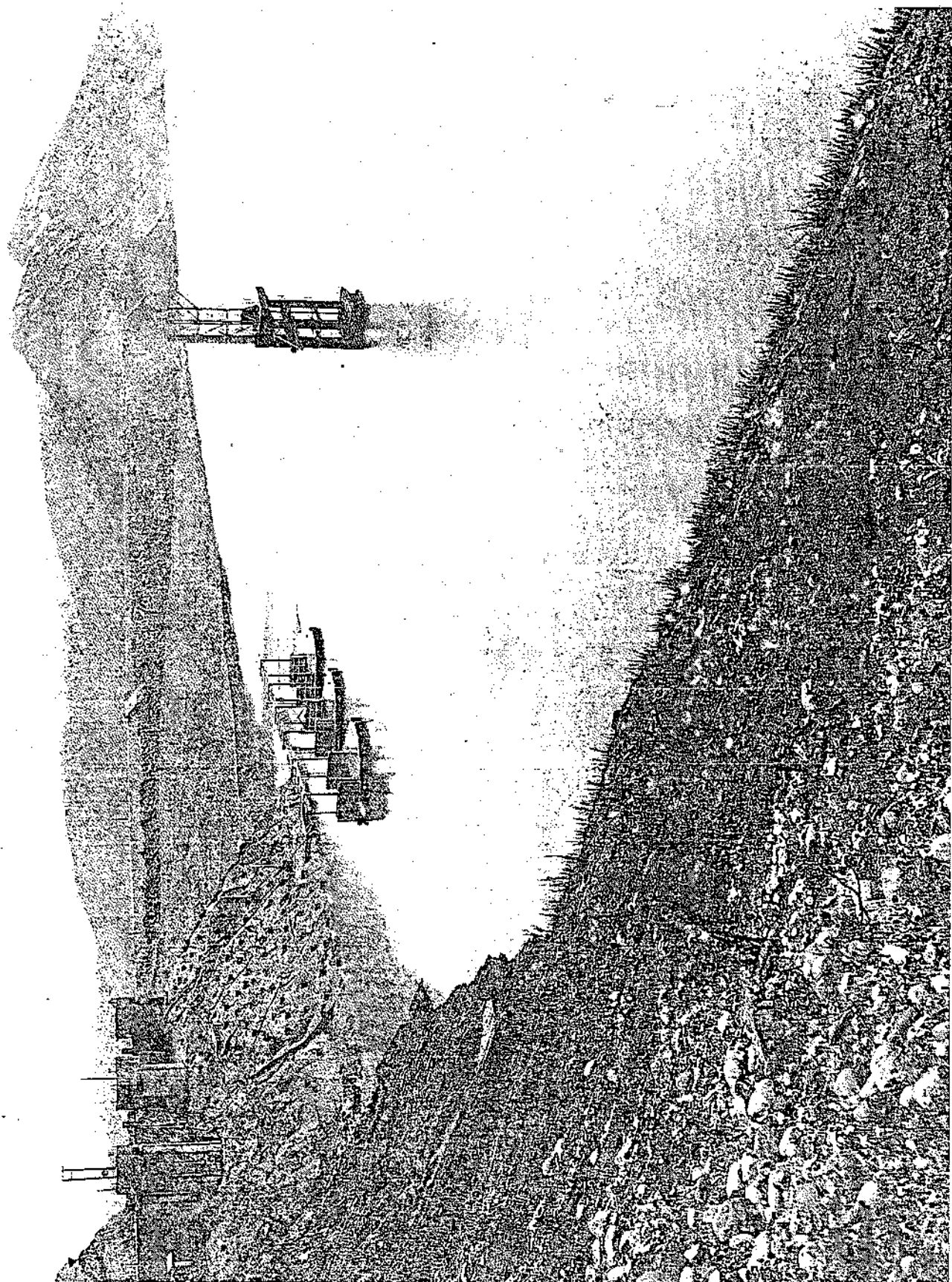
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ Ι



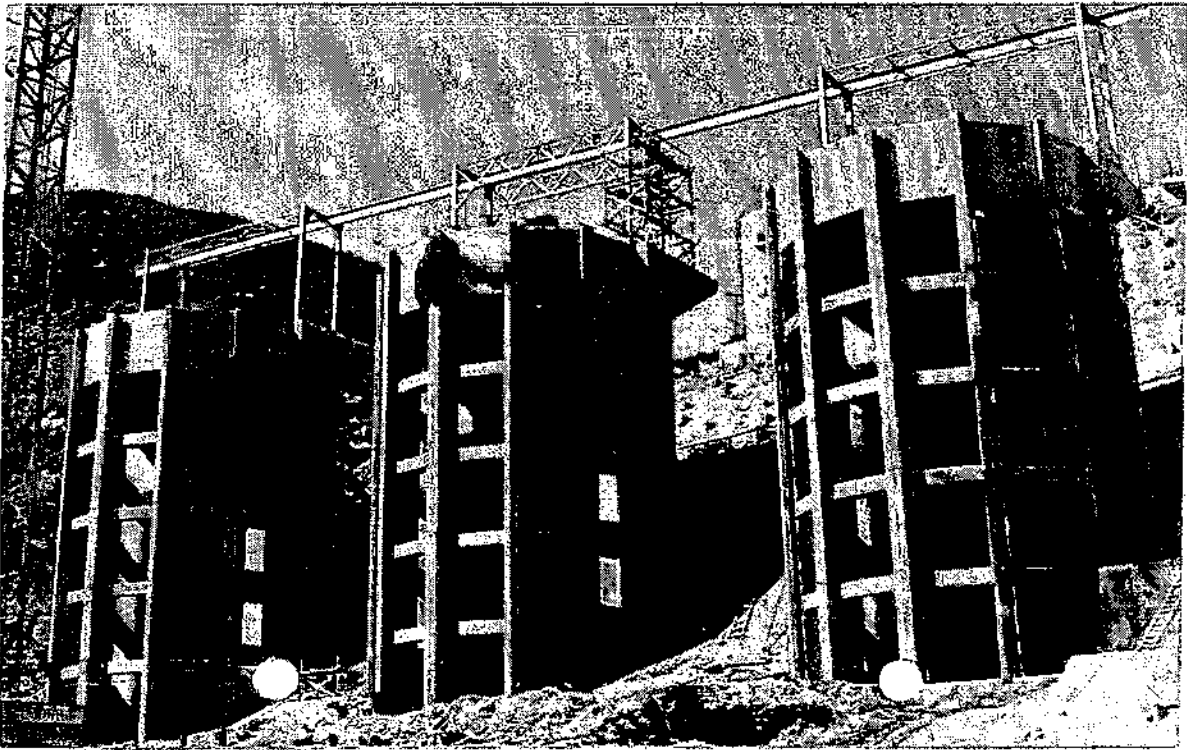
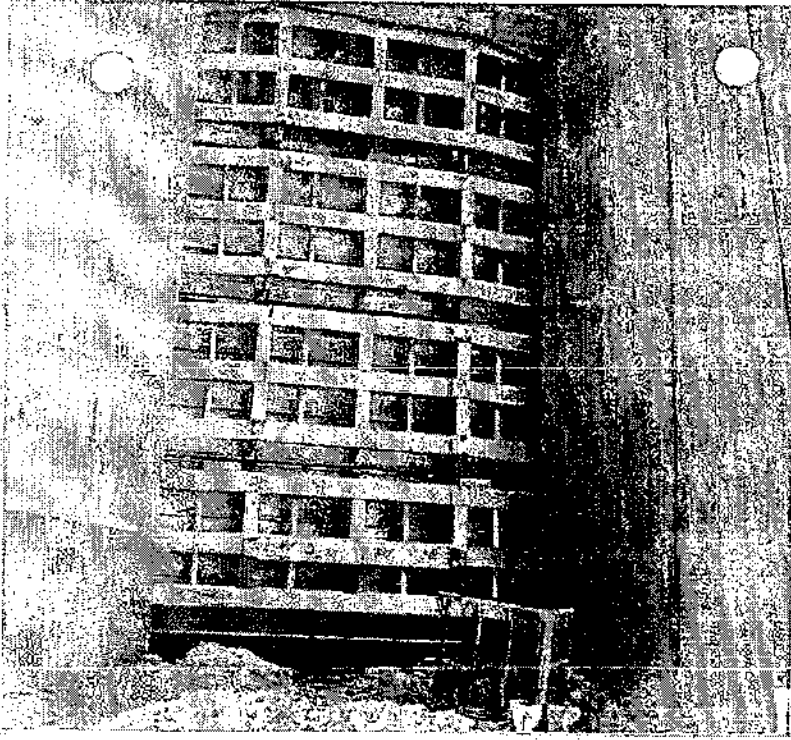
Κάτοψη σταθμού Πουρναρίου Ι



Θύρες εκχειλιστή



Θύρες Υδρολυψίας – Εκκενωτής πυθμένα



Σκάρες Υδρολυψίας



Είσοδος εργοστασίου
Πίνακας ελέγχου





Σερβομοτέρ





Πιεσόμετρα
Σύστημα αέρα για τον υποβιβασμό της στάθμης νερού



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πέτρος Ντοκόπουλος, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, Τομος Ι, Θεσσαλονίκη 1986

Ν.Δ Νανούσης, Βασικές αρχες στροβιλωμηχανών, Πάτρα 1998

Γ Χατζησταματίου, Στοιχεία υδραυλικής και υδραυλικών μηχανών, Αθήνα 1977

Δ.Κ Λιακόπουλος, Μαθήματα υδραυλικής, Αθήνα 1975

Δ.Ε Παπαντώνης, Υδροδυναμικές μηχανές, Αντλίες –υδροστρόβιλοι, Αθήνα 1994

Γενική διευθυνσή διανομής – ΔΕΗ

Βιβλιοθήκη - Αρχείο Πουρναρίου Ι

Στοιχεία και πληροφορίες από το Διαδίκτυο