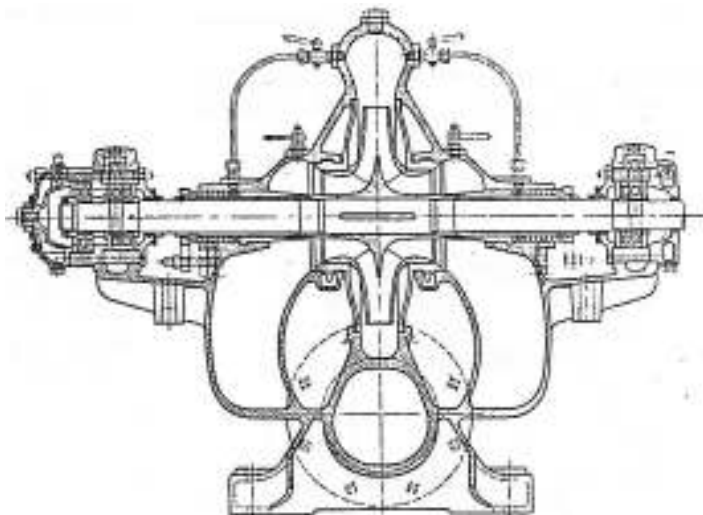




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ:** *Εκτίμηση ενεργειακών και κατασκευαστικών μεγεθών αντλητικής εγκατάστασης υπό σχεδίαση, βάσει των απαιτήσεων πίεσης και παροχής όγκου.*



Φοιτητής: ΧΡΥΣΟΒΕΡΓΗΣ ΜΑΡΙΟΣ  
Επιβλέπων: Καθ. Δ.Ε. Παπαντώνης

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Εισαγωγή – Σκοπός, **σελ. 2**
- Συσχέτιση  $H - n_q$ , **σελ. 4**
- Μελέτη του φαινομένου της σπηλαίωσης, **σελ. 8**
- Εκτίμηση διαστάσεων, **σελ. 10**
- Βαθμός απόδοσης Πτερωτής, **σελ. 12**
- Καταναλισκόμενη Ισχύς, **σελ. 13**
- Καμπύλες  $[H - Q]$  και  $[\eta - Q]$  κατά Sulzer, **σελ. 15**
- Ο κώδικας του προγράμματος, **σελ. 31**
- Σχολιασμός του κώδικα, **σελ. 45**
- Δοκιμές λειτουργίας, **σελ. 50**
- Εκτίμηση – πρόβλεψη για λειτουργία σε διάφορες σύγχρονες στροφές, **σελ. 60**
- Βιβλιογραφία, **σελ. 80**

## ■ Εισαγωγή – Σκοπός

Είναι γνωστό πως οι αντλητικές εγκαταστάσεις, ως περιοχή του επιστημονικού αντικειμένου των υδροδυναμικών μηχανών, εμφανίζουν ιδιαίτερο μελετητικό ενδιαφέρον, καθώς καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πρακτικών εφαρμογών, από την ύδρευση και την κυκλοφορία νερού στις σωληνώσεις κεντρικής θέρμανσης ενός σπιτιού, μέχρι τη διακίνηση ρευστών στη χημική βιομηχανία και την απρόσκοπτη παροχή νερού προς δημιουργία υπέρθερμου ατμού στα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Ο σχεδιασμός για την κατασκευή και εγκατάσταση μιας αντλίας ή ευρύτερα μιας αντλητικής εγκατάστασης δεν προκύπτει απευθείας από μονοσήμαντες αριθμητικές σχέσεις, παρά πρόκειται για μια επαναληπτική διαδικασία ανάμεσα σε θεωρητικές σχέσεις, εμπειρικούς και πειραματικούς τύπους και υποθέσεις προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις άντλησης, χάριν των οποίων γίνεται η εγκατάσταση, με το βέλτιστο τρόπο. Η δυσκολία υπολογισμού στα πραγματικά έργα έγκειται στις πολλές άγνωστες παραμέτρους, στις τεχνικές ιδιαιτερότητες κάθε έργου, καθώς και στις πολλές δυνατές λύσεις, των οποίων η συγκριτική εκτίμηση καθίσταται δύσκολη από το γεγονός ότι οι εμπειρικοί τύποι δεν είναι πάντα εύκολο να συσχετισθούν μαθηματικά, προς βελτιστοποίηση της λύσης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκρότηση μιας τέτοιας διαδικασίας, που θα επικεντρώνεται στη διακίνηση νερού από πλήρως φυγόκεντρες πτερωτές, και η συγγραφή της σε κώδικα προγράμματος, προκειμένου ο υποψήφιος σχεδιαστής – κατασκευαστής, χρησιμοποιώντας ένα επαρκές εύρος επιλογών του προγράμματος αυτού, να μπορεί είτε να υπολογίσει είτε να εκτιμήσει ικανοποιητικά τα ενεργειακά και κατασκευαστικά μεγέθη που σχετίζονται με το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας φυγόκεντρης αντλητικής εγκατάστασης.

Συγκεκριμένα, ο χρήστης του προγράμματος θα εισάγει τις δύο βασικές παραμέτρους που απαιτείται να καλύπτει η λειτουργία της εγκατάστασης, δηλαδή το προσδιδόμενο υδροστατικό ύψος  $H$  και τη διακινούμενη παροχή όγκου  $Q$ , έπειτα θα επιλέγει τη διάταξη της αντλητικής εγκατάστασης και ακολούθως θα εξάγεται μια εκτίμηση των βασικών κατασκευαστικών διαστάσεων, όπως διάμετρος εισόδου ( $D_1$ ) και εξόδου ( $D_2$ ) της πτερωτής και επιμέρους διαστάσεις του σπειροειδούς κελύφους, αλλά και χαρακτηριστικά όπως η παράμετρος σπηλαίωσης ( $\sigma_k$ ) και το ύψος τοποθέτησης ως προς τη δεξαμενή αναρρόφησης, οι σύγχρονες στροφές ( $n$ ), ο ολικός βαθμός απόδοσης ( $\eta$ ) και η καταναλισκόμενη ισχύς ( $N$ ). Το πρόγραμμα θα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να συγκρίνει τα αποτελέσματα με αυτά της κάλυψης των ίδιων αναγκών για διαφορετική ταχύτητα περιστροφής ή και από διαφορετική διάταξη, προκειμένου αυτός να κάνει την πιο κατάλληλη επιλογή, βάσει της ιδιαιτερότητας του υπό σχεδίαση έργου και των τεχνικών ορίων τα οποία θα καλείται να λάβει υπόψη του.

Στο τέλος της παρούσας εργασίας γίνονται δοκιμές για την επιτυχή ή όχι προσέγγιση των παραπάνω μεγεθών, βάσει της διαδικασίας υπολογισμού που συντάξαμε, πάνω σε πραγματικές αντλητικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε λειτουργία στον ελληνικό χώρο. Επίσης, γίνεται η προσπάθεια πρόβλεψης της μεταβολής των εκτιμώμενων μεγεθών της εκάστοτε αντλητικής εγκατάστασης, για κάλυψη των ίδιων αναγκών σε πίεση και παροχή όγκου στην ίδια διάταξη λειτουργίας, με διαφορετική σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής.

Επισημαίνουμε εδώ ότι η διαδικασία υπολογισμού που ακολουθείται στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν προτείνει βέλτιστες λύσεις, παρά μόνο παρουσιάζει αριθμητικά αποτελέσματα. Υπόκειται στην αντίληψη του εκάστοτε μηχανικού ο τρόπος με τον οποίο αυτός θα τα αξιολογήσει και χρησιμοποιήσει για την εκπόνηση της μελέτης ενός πραγματικού έργου.

## ■ Συσχέτιση H – n<sub>q</sub>

Προκειμένου να γίνουν οι παραπάνω υπολογισμοί, προκύπτει η απαίτηση της εύρεσης του ειδικού αριθμού στροφών (n<sub>q</sub>) για τυχαία αντλία. Με βάση λοιπόν χαρακτηριστικά λειτουργίας ήδη υπαρκτών αντλητικών εγκαταστάσεων, αναζητούμε τη συσχέτιση του ειδικού αριθμού στροφών με το υδροστατικό ύψος. Ο πρώτος πίνακας αναφέρεται σε αντλητικές εγκαταστάσεις ανα τον κόσμο με έμφαση σε αντλίες μεγάλου προσδιδόμενου ύψους, ενώ ο δεύτερος σε εγκαταστάσεις των Η.Π.Α. με έμφαση στη διακίνηση μεγάλης παροχής όγκου.

Ον. Εγκατάστασης	Βαθμίδες	Είσοδοι αναρρόφησης	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /sec)	n <sub>q</sub> (rpm)	N (MW)	D <sub>2</sub> (mm)	η (%)	n (rpm)
Mottec (1)	1	1	119,5	4,9	45,23	6,74	1360	0,8514	750
Innerfragant (1)	4	1	705,2	3,25	27,95	25	1475	0,8984	750
Innerfragant (2)	6	1	919,8	2,64	27,97	27	1350	0,8814	750
Rosshag	2	1	562	9,04	32,9	57	2013	0,8735	750
Tehatsapi	4	1	590	8,92	42,34	56	1843	0,921	600
Etsel	5	1	483,2	2,79	27,09	15,35	1640	0,8605	500
Lunrsee	5	1	950	3,8	28,57	40,93	1545	0,8644	750
Cotilia	2	2	136	15,5	39,55	25,83	3000	0,7998	337,5
Geerstacht	2	2	81,6	34	54,79	30,3	3600	0,8973	214,3
Reisach	2	2	180	12,6	28,63	25,45	2400	0,8734	333,3
Provvide	2	2	258	15,12	32,33	44,86	2180	0,8522	450
Vianden	2	2	280	21,8	34,77	67,54	2400	0,8857	428,6
Frestiniog	2	2	310,2	21,6	31,11	68,33	2500	0,961	428,6
Villa Car	2	2	396	16,24	31,25	64,89	2000	0,9713	600
Pragneres	4	2	400	2	25,49	9,26	1050	0,8467	1000
Hausling	2	1	725,7	21,57	33,53	170,16	2724	0,9015	600
Grand Maison	4	1	900	15,7	40,92	153,6	2215	0,9015	600
Muna	1	1	30,9	2,31	83,78	0,834	1015	0,8388	600
Peccia	2	1	382,5	2,31	17,57	10,075	1240	0,8595	1000
Ferrera	2	1	447,8	5,06	29,13	23,25	1700	0,9551	750
Sackingen	2	1	405	16,28	45,09	70,8	2150	0,9127	600
Mottec (2)	3	1	617,1	3,32	25,16	22,675	1600	0,8855	750

Πίνακας 1 – μεγάλα υδροστατικά ύψη H (m)

Ον. Εγκατάστασης	H (m)	n <sub>q</sub> (rpm)	Q (m <sup>3</sup> /sec)
Balls Ferry	0,61	323,36	2,83
No. 4 Drain	1,07	506,53	
All American Canal (1)	1,07	416,3	0,14
All American Canal (2)	1,16	522,8	0,25
All American Canal (3)	2,68	447,67	
Wistaria (1)	1,22	398,88	0,28
Wistaria (2)	2,68	294,32	0,28
Tule Lake No. 6 (1)	3,2	242,81	0,71
Tule Lake No. 6 (2)	3,2	309,81	0,71
No 10 Drain (1)	3,96	200,02	0,23
No 10 Drain (2)	3,96	211,25	0,45
Modoc E & F	3,2	271,08	2,83
Modoc B	3,2	243,97	0,71
Modoc C	3,66	255,59	0,94
Intake	5,18	113,85	0,42
Modoc A	6,1	216,87	0,94
Contra Costa (1)	7,62	164,97	0,99
Contra Costa (2)	7,62	166,52	1,98
Contra Costa (3)	8,08	150,64	0,99
Contra Costa (4)	8,08	151,03	1,98
Contra Costa (5)	10,2	124,7	0,99
Contra Costa (6)	10,2	147,16	1,98
Contra Costa (7)	15,4	111,72	1,87
Contra Costa (8)	15,4	105,33	2,1
Buford - Trenton	8,84	182,59	2,27
Fallon	13,7	93,717	0,71
Dead Ox. No. 3	15,4	47,827	0,28
Owyee Ditch	15,2	111,53	2,1
Shirley	15,5	94,685	1,05
Gila (1)	16	83,648	2,83
Gila (2)	16,2	81,324	5,66
Gila (3)	16,5	86,94	11,3
Modoc D	19,5	76,968	1,42
City of Toronto	25	72,417	2,62
Dead Ox. No. 2	25,3	46,471	1,08
Fallon Relift	27,4	56,927	0,57

Glendive	31,4	52,958	2,83
Terry	33,2	49,569	0,58
Dead Ox. No. 1	33,8	48,891	1,27
Ontario – Nyssa (1)	36,6	54,604	0,57
Ontario – Nyssa (2)	36,6	58,863	0,57
Ontario – Nyssa (3)	36,6	59,444	0,85
Iron Mountain M.W.D.	44,5	41,437	5,66
Granby Proposed	46,3	53,442	7,79
Croton Lake N.Y.	49,7	53,829	2,81
Rocky River	72,8	36,79	7,91
A.S.M.E. Trans. 12 - 37 Shnyder	78	28,464	
Intake M.W.D.	89,6	32,723	5,66
Gene M.W.D.	94,5	25,637	5,66
Flathead Model Tests (1)	102	30,632	
Flathead Model Tests (2)	102	38,339	
Grand Coulee Proposed	94,5	40,662	38,2
Eagle Mountain M.W.D.	134	27,166	5,66
Hayfield M.W.D.	135	27,011	5,66
Shluchsee	200	17,233	7,6
Wäggital	263	12,16	1,12

Πίνακας 2 – μεγάλες παροχές όγκου Q (m<sup>3</sup>/sec)

Για τον πίνακα 2 γνωρίζουμε τη συσχέτιση μεταξύ των H (m) και n<sub>q</sub> (rpm) για Q σε m<sup>3</sup>/sec:

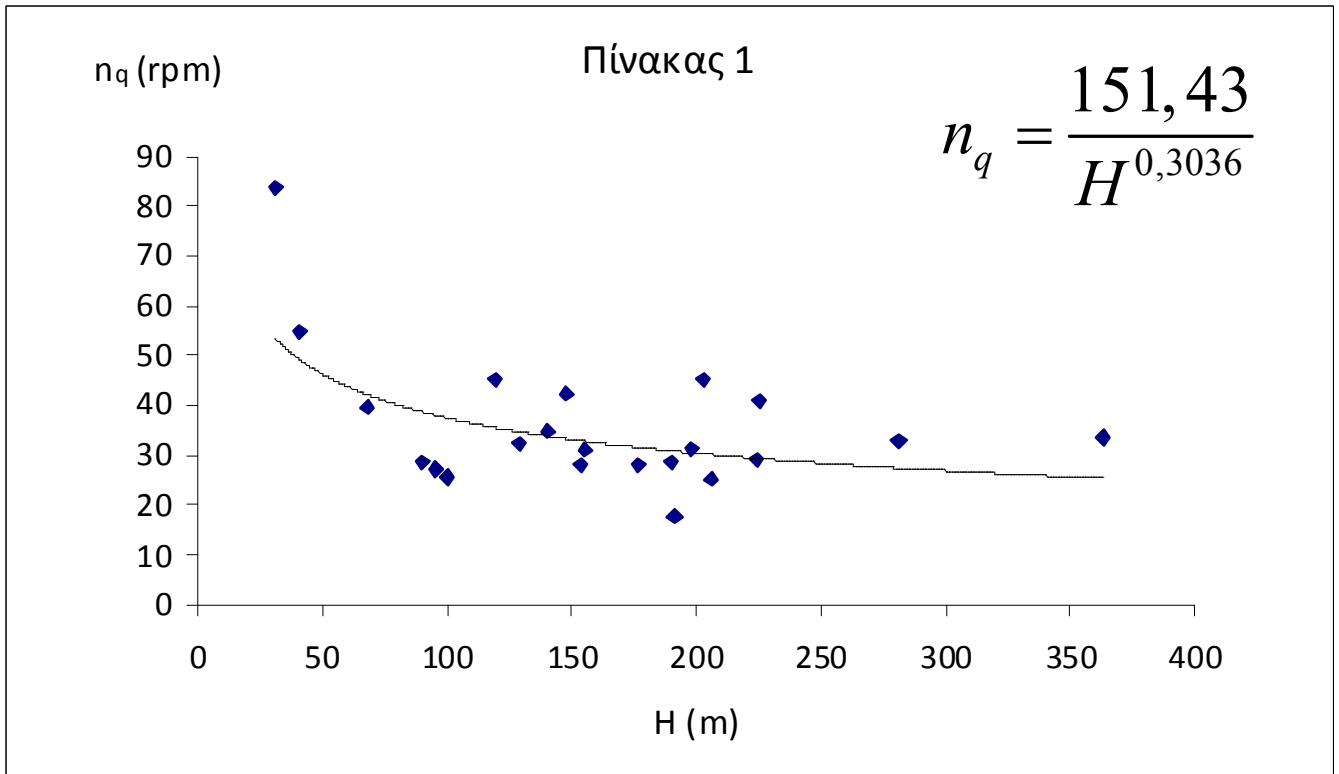
$$H < 30,48m\Sigma Y \rightarrow n_q = \frac{714,34}{H^{0,5}}$$

$$H \geq 30,48m\Sigma Y \rightarrow n_q = \frac{310,01}{H^{0,75}}$$

Για τον πίνακα 1, γνωρίζοντας ότι η σχέση που συνδέει τον ειδικό αριθμό στροφών n<sub>q</sub> με την παροχή Q, το υδραυλικό ύψος H και τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής είναι:

$$n = n_q \cdot \frac{H^{0,75}}{Q^{0,5}}$$

, η συσχέτιση που αναμένουμε και άρα θα επιλέξουμε μεταξύ των δυνατών συναρτήσεων θα είναι εκθετικής μορφής. Παρακάτω φαίνονται τα σημεία σε διάγραμμα και η καμπύλη για τη συνάρτηση που τα προσεγγίζει:



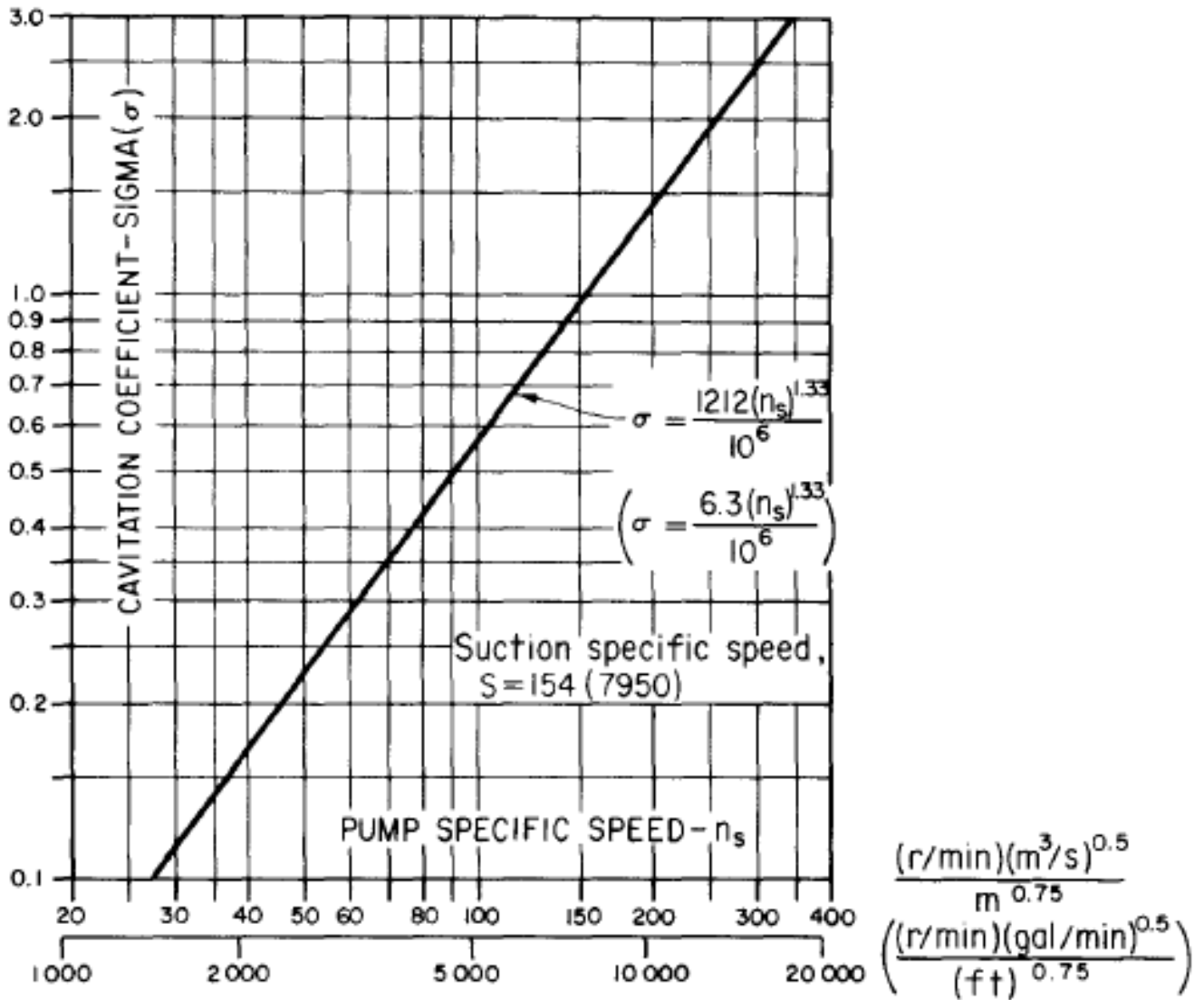
Από τις 2 κατανομές δεδομένων για τις παραπάνω αντλητικές εγκαταστάσεις, προκύπτουν οι συσχετίσεις μεταξύ H (m) και n<sub>q</sub> (rpm) ως εξής: Από τους αναλυτικούς τύπους βρίσκω τις τιμές του n<sub>q</sub> για κάθε κατανομή έως τα 400 mΣΥ, με βήμα 20 mΣΥ. Ο πίνακας 1 περιλαμβάνει 22 αντλητικές εγκαταστάσεις και 58 ο πίνακας 2. Με βαρύτητα λοιπόν 22/80 = 0,275 και 58/80 = 0,725 αντιστοίχως για κάθε τιμή στο ίδιο υδροστατικό ύψος, βρίσκω μια ενιαία τιμή για το ύψος αυτό. Για αυτές τις νέες τιμές, βρίσκω μια τελική συσχέτιση μεταξύ H (m) και n<sub>q</sub> (rpm):

$$n_q = \frac{261,74}{H^{0,4486}}$$



## ■ Μελέτη του φαινομένου της σπηλαιώσης

Έχοντας πλέον βρεί τον ειδικό αριθμό στροφών  $n_q$ , διερευνούμε το φαινόμενο της σπηλαιώσης στην αντλία. Η παράμετρος σπηλαιώσης  $\sigma_{κρ}$  δίνεται από τον παρακάτω τύπο (για  $H$  σε  $m$  και  $Q$  σε  $m^3/sec$ ) και παριστάνεται στο νομογράφημα. Από την παράμετρο σπηλαιώσης, βρίσκεται και το κρίσιμο ύψος σπηλαιώσης,  $H_{κρ}$ .



$$\sigma_{κρ} = \frac{1212 \cdot (n_q)^{1.33}}{10^6}$$

$$H_{κρ} = H \cdot \sigma_{κρ}$$

Για την εύρεση του καθαρού θετικού ύψους αναρρόφησης, **NPSH** (Net Positive Suction Head), κάνουμε τις παρακάτω εκτιμήσεις: θεωρούμε ότι η αντλητική εγκατάσταση λειτουργεί με ανοικτή δεξαμενή αναρρόφησης, σε ατμοσφαιρική πίεση (**P<sub>A</sub>**) **10,33 mΣY** και θερμοκρασία 15 °C. Η πυκνότητα του νερού, που είναι το διακινούμενο ρευστό, είναι 999 kg/m<sup>3</sup> και η τάση ατμών (**P<sub>s</sub>**) 0,0178195 bar που αντιστοιχούν σε **0,182 mΣY**. Για τις υδραυλικές απώλειες **δh<sub>fe</sub>** του αγωγού αναρρόφησης υποθέτουμε ένα ποσοστό του προσδιδόμενου υδραυλικού ύψους της τάξης του 2%, σχετικά υψηλό ώστε να βρισκόμαστε στην ασφαλή πλευρά των εκτιμήσεων. Έτσι η παράμετρος υπολογισμού για το φαινόμενο της σπηλαιώσης, θα είναι το γεωδαιτικό ύψος τοποθέτησης της αντλίας, ως προς τη στάθμη της δεξαμενής αναρρόφησης, **h<sub>e</sub>**:

$$NPSH = H_A - h_e - \delta h_{fe} - H_s$$

Προκειμένου να έχουμε ασφαλή λειτουργία της αντλητικής εγκατάστασης έναντι του φαινομένου της σπηλαιώσης, θα ισχύει:

$$NPSH > H_{κρ}$$

Επιλύοντας ως προς h<sub>e</sub> και αντικαθιστώντας τις παραπάνω τιμές, προκύπτει ο εξής περιορισμός για το ύψος τοποθέτησης της αντλίας:

$$h_e < 10,148mΣY - H_{κρ} - \delta h_{fe}$$

Προκειμένου η διαδικασία να κινείται εντός οικονομικώς αποδεκτών ορίων, θα γίνονται αποδεκτά ύψη τοποθέτησης της αντλίας (άρα και κατασκευής του αντλιοστασίου) έναντι της δεξαμενής αναρρόφησης έως -20 m, ενώ για αρνητικότερες τιμές θα γίνεται σχετική επισήμανση στο χρήστη.

## ■ Εκτίμηση διαστάσεων

Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής της αντλίας  $n$ , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n = n_q \cdot \frac{H^{0,75}}{Q^{0,5}}$$

Από τον κρίσιμο αριθμό στροφών  $n_q$ , υπολογίζονται οι σταθερές  $a$  και  $K_u$ :

$$a = 810 \cdot \left( \frac{n_q}{1000} \right)^{0,707} \quad K_u = 0,82 + \frac{6,4 \cdot n_q}{10^3} - \frac{3,3 \cdot (n_q)^2}{10^6}$$

Η διάμετροι εισόδου ( $D_1$ ) και εξόδου ( $D_2$ ) της περρωτής υπολογίζονται (σε mm):

$$D_1 = \frac{550 \cdot a \cdot (H)^{0,5}}{n} \quad D_2 = \frac{84600 \cdot K_u \cdot (H)^{0,5}}{n}$$

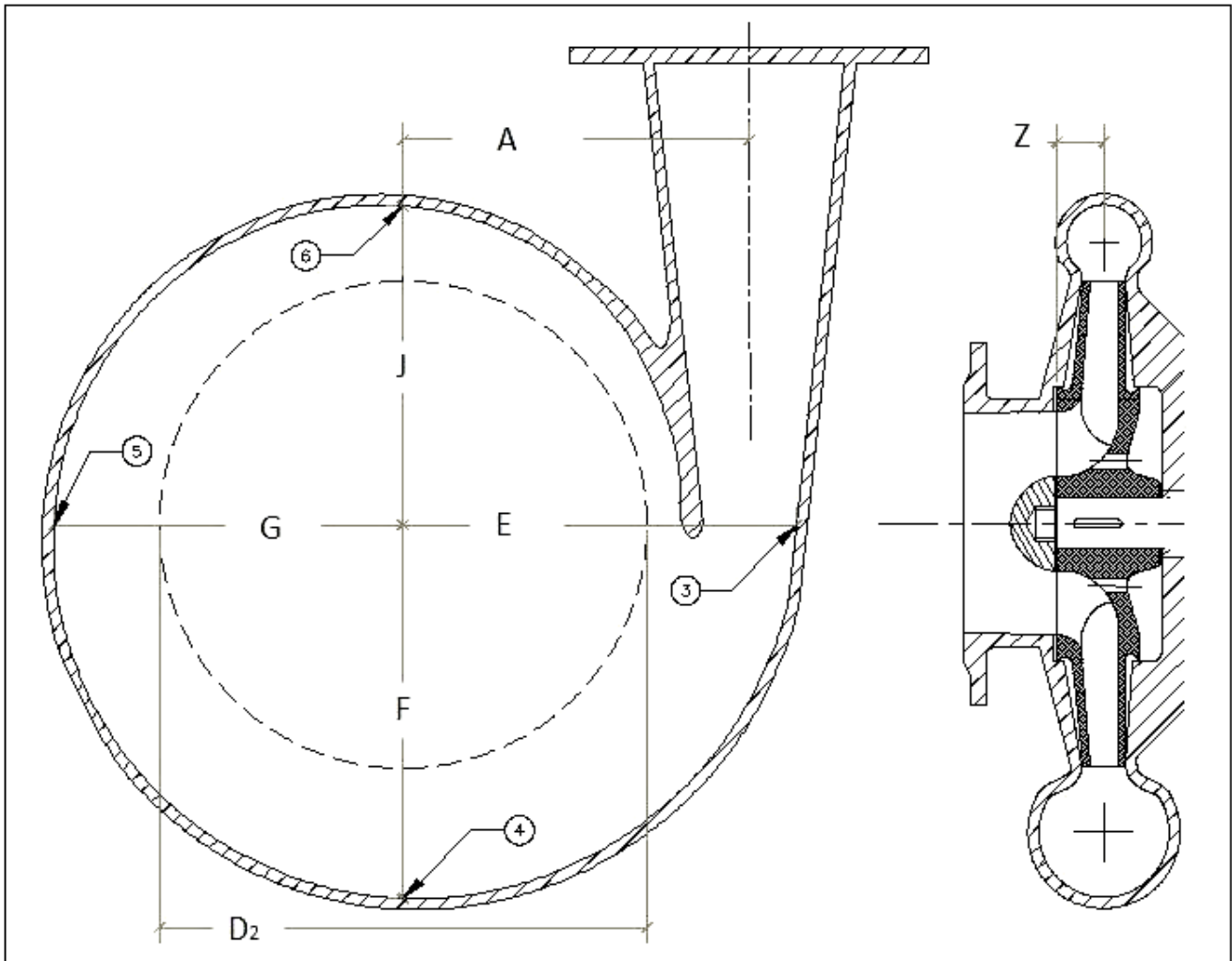
Από τη διάμετρο εξόδου της περρωτής  $D_2$ , εκτιμώνται οι διαστάσεις **A**, **J**, **E**, **F**, **G**, **Z** όπως αυτές φαίνονται στο παρακάτω τυπικό σχέδιο φυγοκεντρικής αντλίας, καθώς και οι ακτίνες **R<sub>3</sub>**, **R<sub>4</sub>**, **R<sub>5</sub>**, **R<sub>6</sub>** του σπειροειδούς κελύφους στις αντίστοιχες θέσεις:

$$A \simeq J = 0,835 \cdot D_2 \quad E = 1,065 \cdot D_2$$

$$F = 0,98 \cdot D_2 \quad G = 0,89 \cdot D_2 \quad Z = 0,3 \cdot D_2$$

$$R_3 = 0,18 \cdot D_2 \quad R_4 = 0,155 \cdot D_2$$

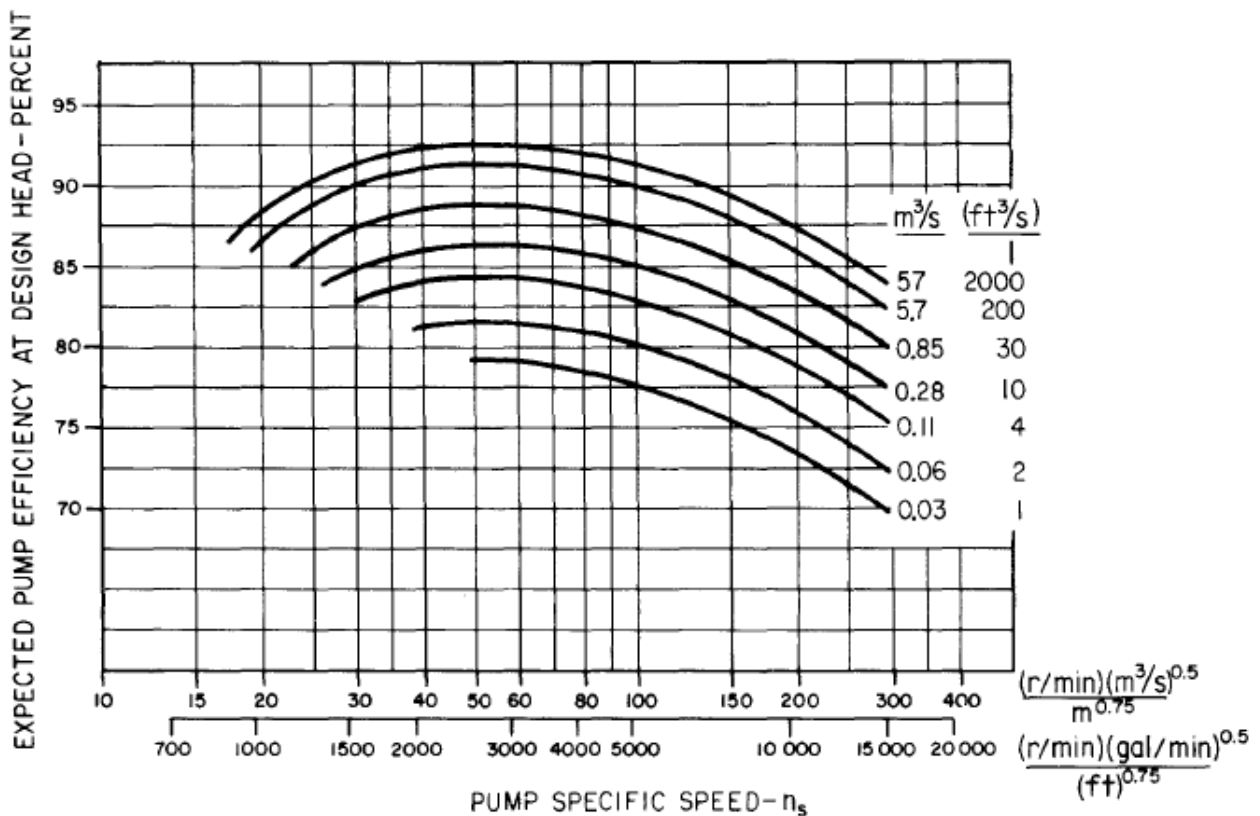
$$R_5 = 0,125 \cdot D_2 \quad R_6 = 0,09 \cdot D_2$$



Τυπικό σχέδιο πτερωτής και σπειροειδούς κελύφους φυγοκεντρικής αντλίας

Οι παραπάνω υπολογισμοί αφορούν σπειροειδές κέλυφος μονοβάθμιας αντλίας απλής αναρρόφησης. Στον κώδικα που ακολουθεί, οι ίδιοι υπολογισμοί, ελλείψει καλύτερης προσέγγισης στη βιβλιογραφία, αποδίδονται στο σπειροειδές κέλυφος πολυβάθμιας αντλίας με χαρακτηριστικά κάθε πτερωτής όπως παραπάνω, καθώς και σε σπειροειδές κέλυφος πτερωτής διπλής αναρρόφησης, με χαρακτηριστικά πτερωτής της κάθε αναρρόφησης όπως παραπάνω.

## ■ Βαθμός Απόδοσης



Διάγραμμα μέγιστου ολικού βαθμού απόδοσης  $\eta$  (%) συναρτήσει του ειδικού αριθμού στροφών  $n_q$  (rpm), με παράμετρο το μέγεθος της αντλίας (παροχή όγκου)

Ο μέγιστος δυνατός ολικός βαθμός απόδοσης  $\eta$  (%) για κάθε ξεχωριστή πτερωτή της υπό σχεδίαση φυγοκεντρικής αντλίας εκτιμάται από τις παρακάτω εμπειρικές σχέσεις, που προέκυψαν από την εταιρεία Sulzer, μετά από στατιστική επεξεργασία 15000 αντλιών, 200 διαφορετικών τύπων:

$$\eta_{th} = 0,96 - \delta\eta_Q - \delta\eta_o$$

, όπου ο όρος  $\delta\eta_Q$  εκφράζει τις απώλειες που επηρεάζονται από το μέγεθος της αντλίας, μέσω της παροχής όγκου  $Q$  ( $m^3/hr$ ) ενώ με το διορθωτικό συντελεστή  $\delta\eta_o$  λαμβάνεται υπόψη η μορφή της πτερωτής, μέσω του ειδικού αριθμού στροφών,  $n_q$  ( $Q$  σε  $m^3/hr$ ,  $H$  σε  $m\Sigma Y$ ):

$$\log(\delta\eta_Q) = -0,3274237 \cdot \log(Q) - 0,1498048$$

και

$$\delta\eta_o = 0,29 \left[ 0,32 - \log\left(\frac{n_q}{1272,43}\right) \right]^2$$

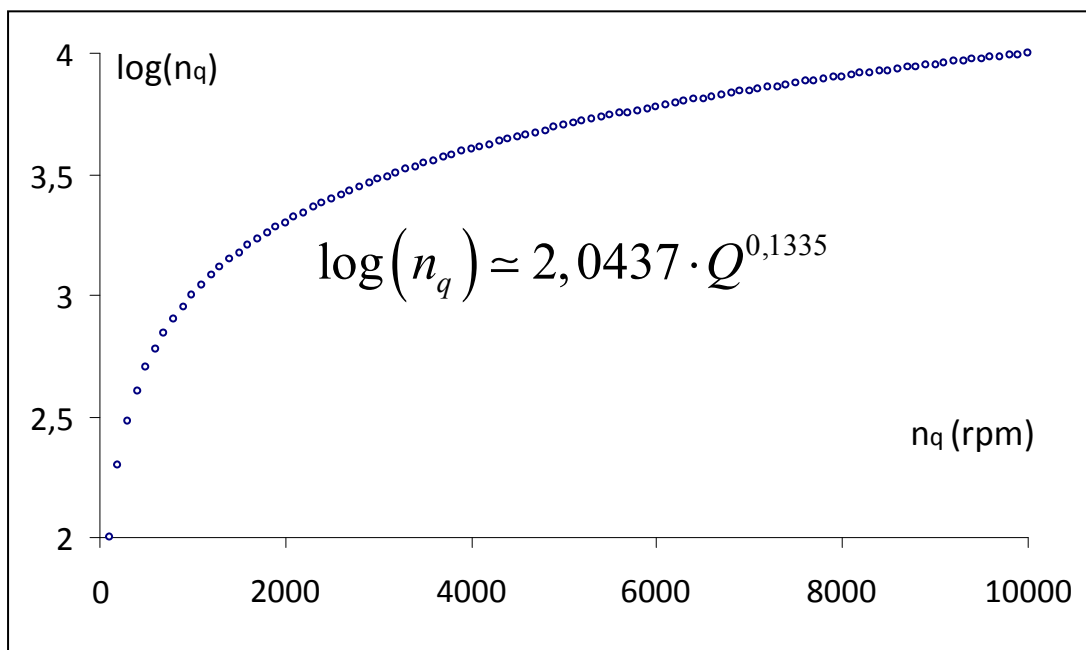
Για την εκτίμηση του πραγματικού βαθμού απόδοσης, θεωρούμε ότι αυτός θα πρέπει να προκύπτει με μείωση της μέγιστης τιμής. Έτσι, από τις 22 αντλίες του πίνακα 1, οι οποίες καλύπτουν διάφορες απαιτήσεις και σενάρια λειτουργίας οπότε είναι ενδεικτικές της γενικής περίπτωσης, βρήκαμε τη μέση απόκλιση από την τιμή που θα προέκυπτε από τον παραπάνω τύπο, την οποία και αφαιρούμε από αυτόν, ως σταθερό όρο. Έτσι, τελικά προκύπτει:

$$\eta = 0,9243 - \delta\eta_Q - \delta\eta_o$$

Ωστόσο, κατά τη συγγραφή του προγράμματος σε fortran, έπρεπε οι παραπάνω σχέσεις να γραφούν σε διαφορετική μορφή, αφού η γλώσσα προγραμματισμού δεν αναγνωρίζει τις λογαριθμικές συναρτήσεις. Ο όρος  $\delta\eta_Q$  μετασχηματίζεται απευθείας σε εκθετική συνάρτηση, ενώ για τον όρο  $\delta\eta_o$  απαιτήθηκε να προσεγγίσουμε τη συνάρτηση  $\log(n_q)$  με την κοντινότερη συνάρτηση, όπως φαίνεται παρακάτω [στην προσέγγιση του διαγράμματος, το  $n_q$  (rpm) προκύπτει για  $Q$  σε  $m^3/sec$ ,  $H$  σε  $mSY$ ]:

$$\delta\eta_Q = Q^{-0,3247} \cdot 10^{-0,1498}$$

$$\delta\eta_o = 0,29 \left[ 3,4246 - \log(n_q) \right]^2$$



## ■ Καταναλισκόμενη Ισχύς

Η καταναλισκόμενη ισχύς (**P** σε Watt) για κάθε πτερωτή της υπό σχεδίαση αντλίας δίνεται συναρτήσει της παροχής όγκου (**Q** σε m<sup>3</sup>/sec), του υδραυλικού ύψους (**H** σε mΣΥ) και του ολικού βαθμού απόδοσης **η** από τον τύπο:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta}$$

, όπου για την παρούσα εργασία έχουμε ήδη δεχτεί σαν σταθερά μεγέθη  $\rho = 999 \text{ kg/ m}^3$  και  $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$ .

## ■ Καμπύλες [H – Q] και [ $\eta$ – Q] κατά Sulzer

Δίνονται παρακάτω οι πίνακες της εταιρίας κατασκευής αντλιών Sulzer σε αδιάστατη μορφή ως προς το κανονικό σημείο λειτουργίας αντλίας ( $H_k$ ,  $Q_k$ ,  $\eta_k$ ) με παράμετρο τον ειδικό αριθμό στροφών  $n_q$  ( $n_q$  σε rpm, H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec).

$\eta/\eta_k$								
Q/Q <sub>k</sub>	$n_q = 20$	$n_q = 30$	$n_q = 40$	$n_q = 50$	$n_q = 60$	$n_q = 70$	$n_q = 80$	$n_q = 100$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,25	0,505	0,5	0,495	0,4848	0,4746	0,4644	0,4542	0,4444
0,5	0,8148	0,794	0,7831	0,7725	0,7619	0,7514	0,7408	0,7302
0,75	0,9524	0,952	0,9505	0,9488	0,9471	0,9454	0,9437	0,942
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,25	0,92	0,908	0,89	0,86	0,83	0,802	0,785	0,76

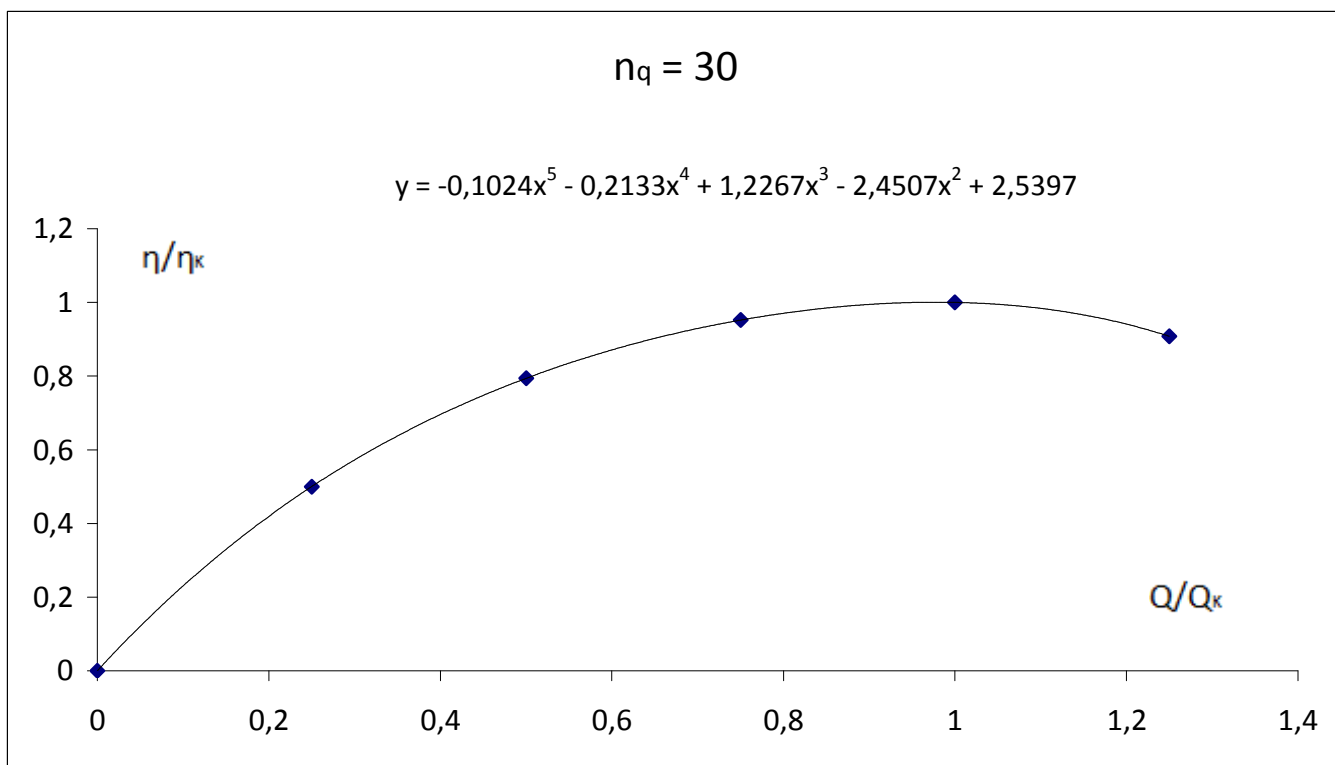
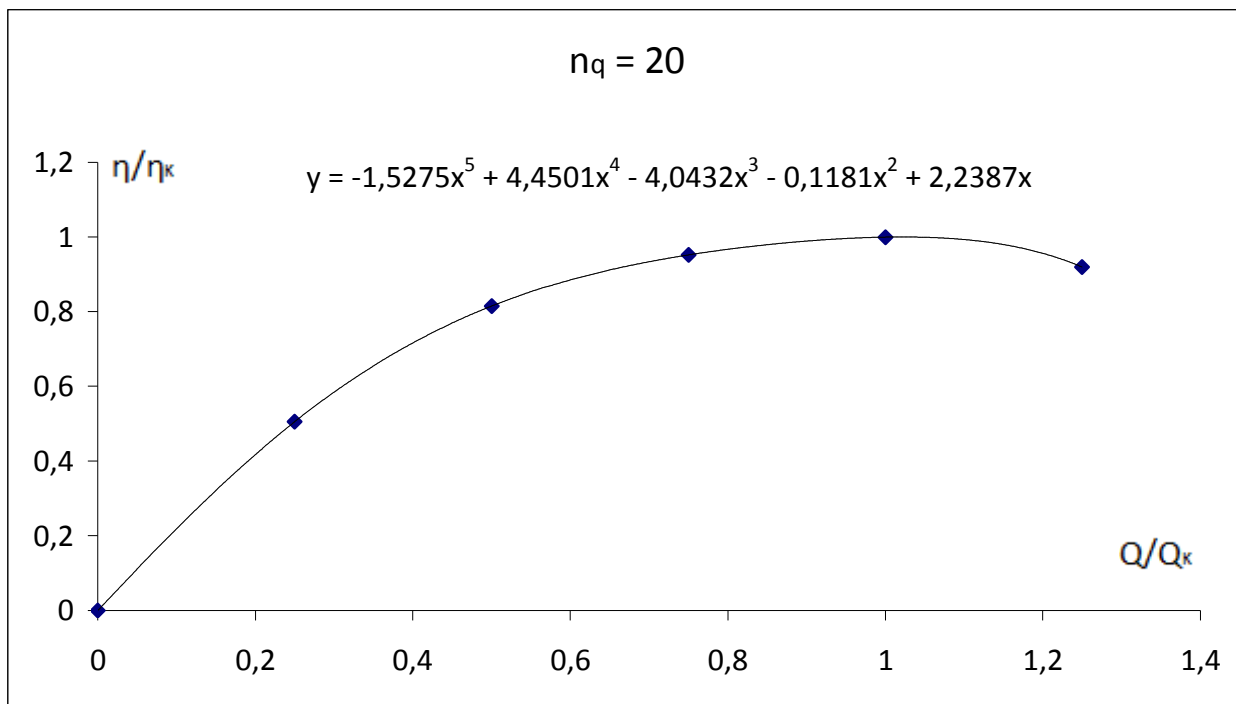
Πίνακας  $\eta/\eta_k - Q/Q_k$ , με παράμετρο  $n_q$

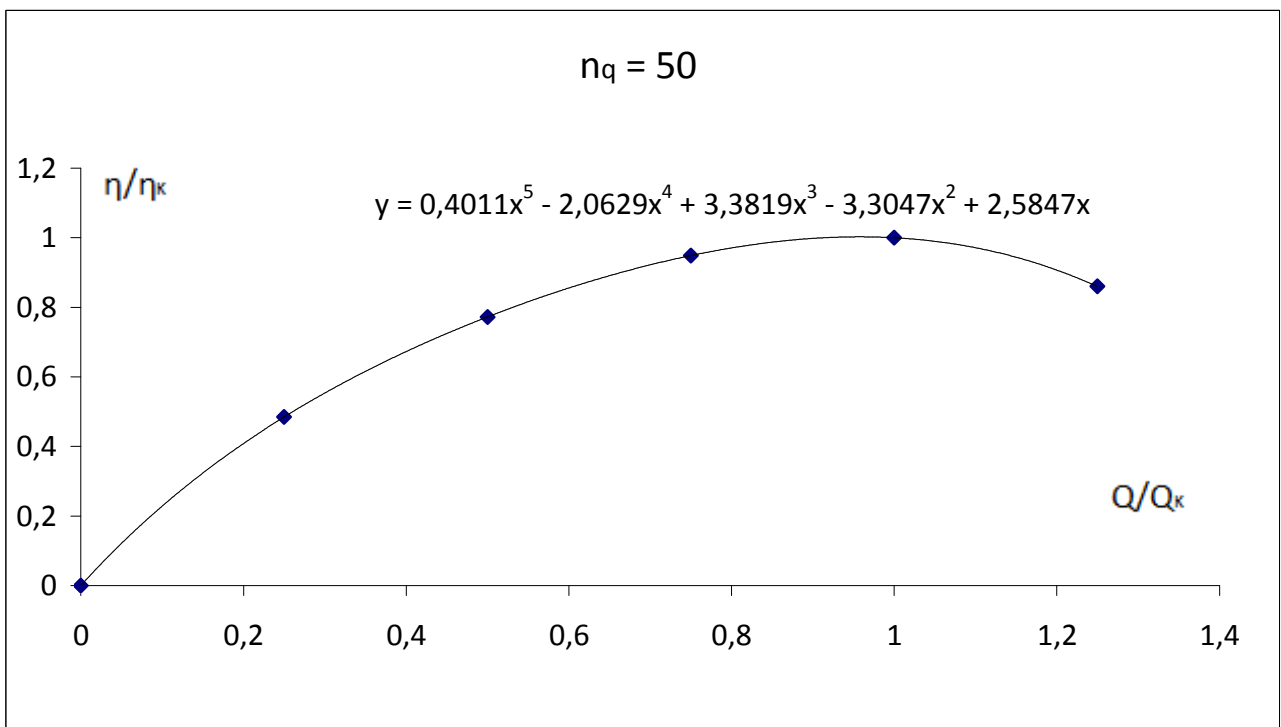
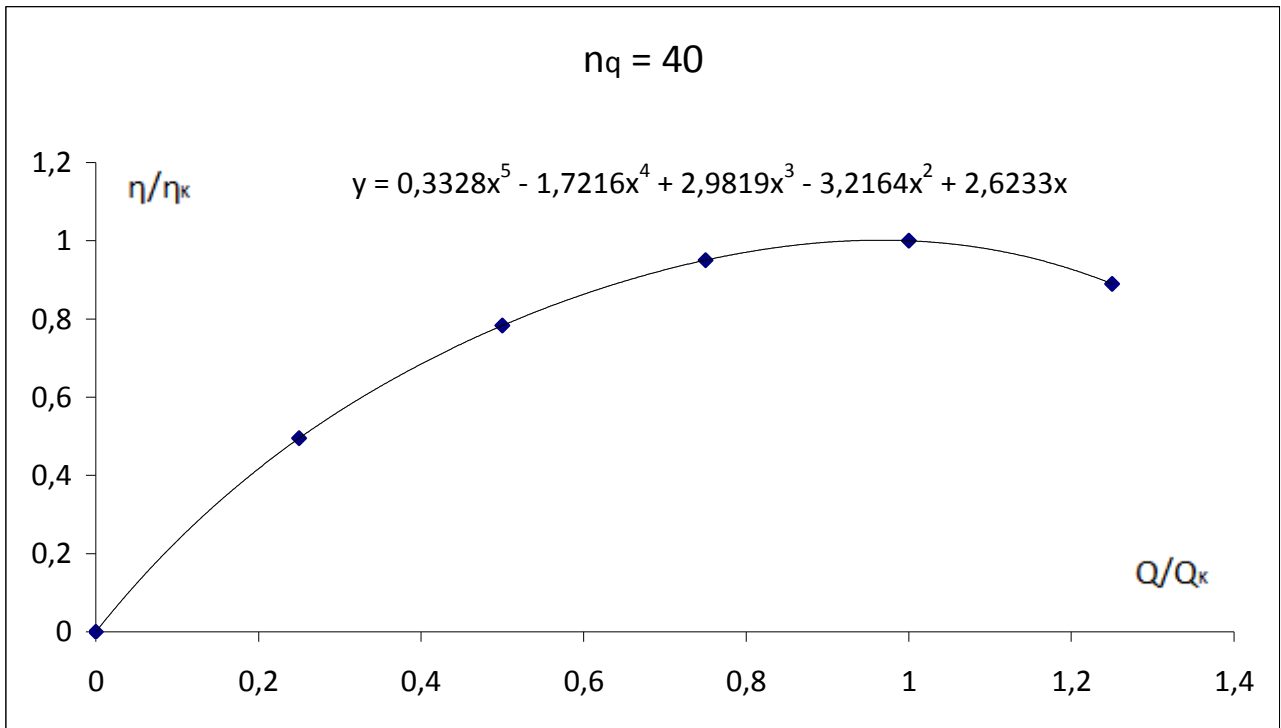
H/H <sub>k</sub>								
Q/Q <sub>k</sub>	$n_q = 20$	$n_q = 30$	$n_q = 40$	$n_q = 50$	$n_q = 60$	$n_q = 70$	$n_q = 80$	$n_q = 100$
0	1,2169	1,3333	1,4391	1,5238	1,6085	1,672	1,7408	1,825
0,25	1,2063	1,291	1,3704	1,4444	1,5026	1,5555	1,5873	1,619
0,5	1,1746	1,2275	1,2751	1,3333	1,3809	1,418	1,455	1,492
0,75	1,111	1,1428	1,1693	1,2063	1,2169	1,2487	1,2751	1,317
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,25	0,8095	0,7725	0,746	0,7302	0,6984	0,6667	0,6349	0,587

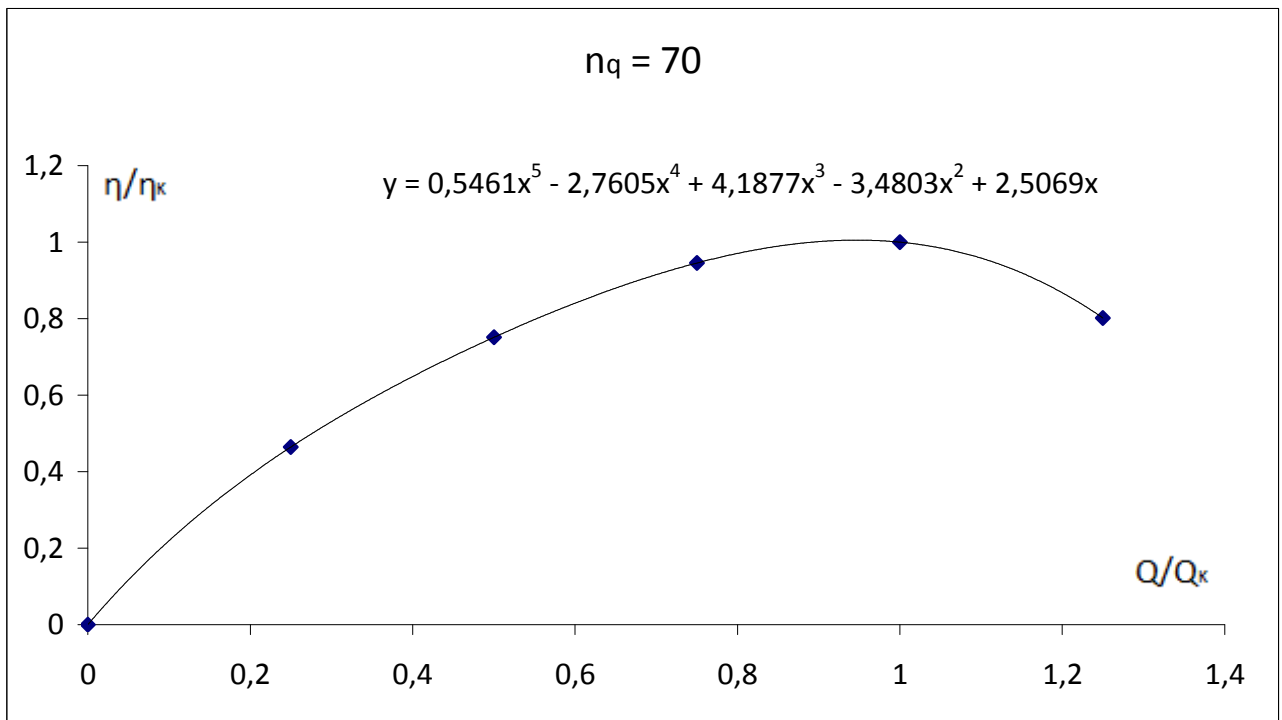
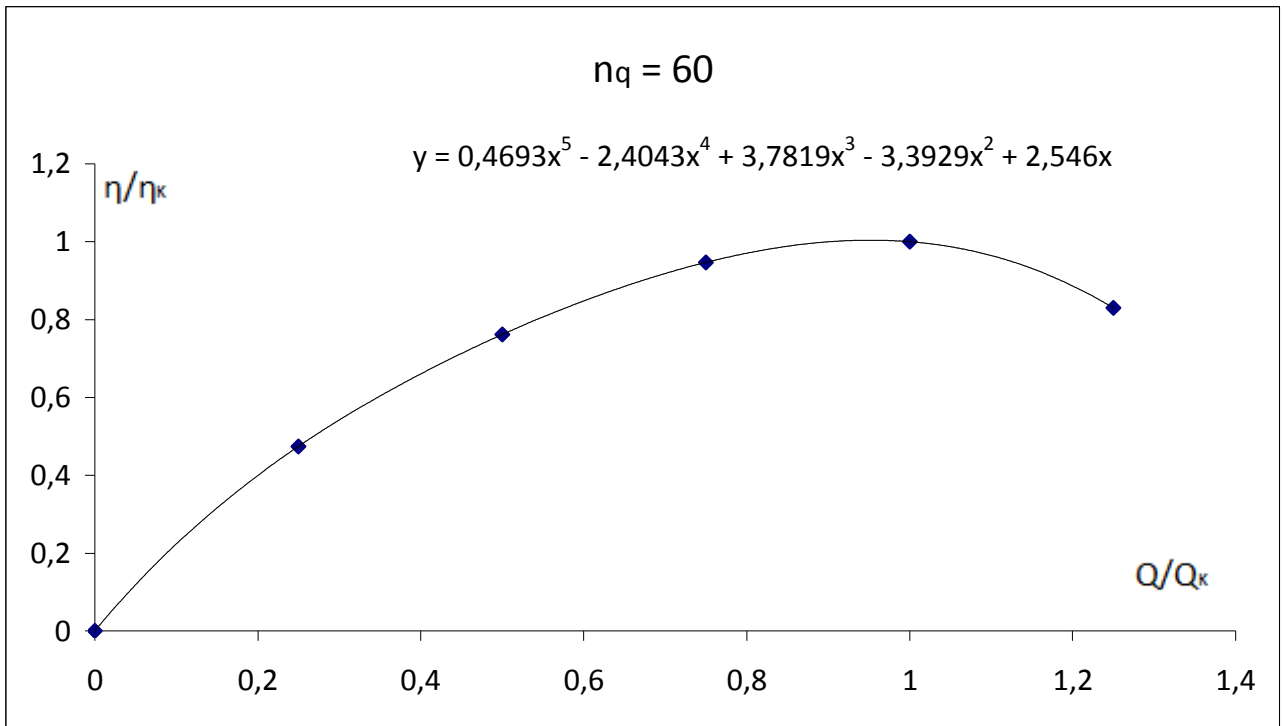
Πίνακας H/H<sub>k</sub> – Q/Q<sub>k</sub>, με παράμετρο  $n_q$

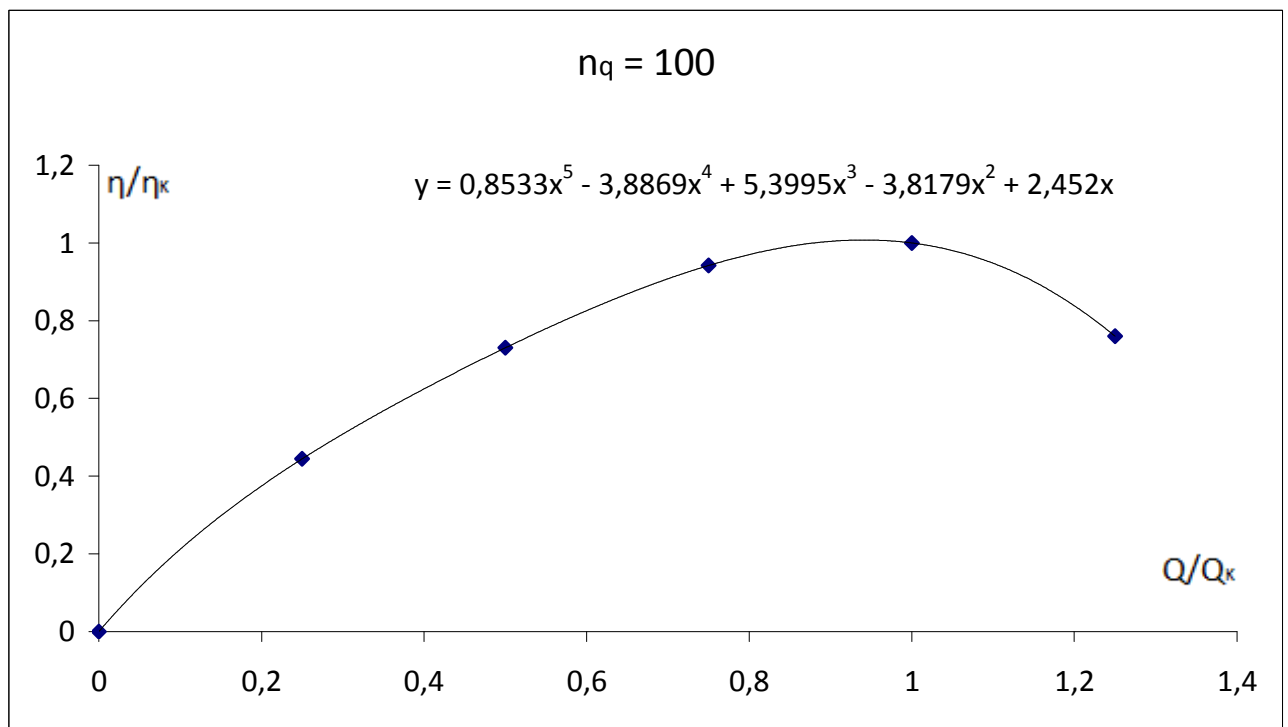
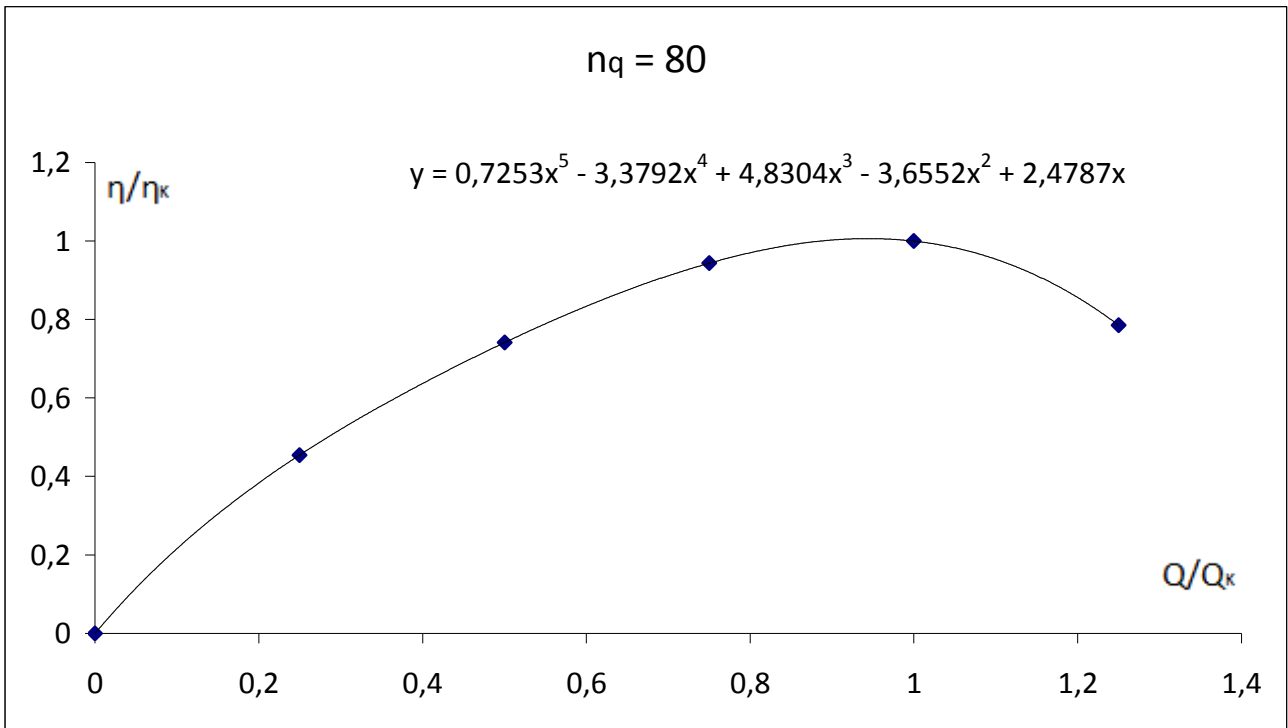
Για κάθε τιμή της παραμέτρου  $n_q$  κατασκευάζω τα αντίστοιχα διαγράμματα και παίρνω την πολυωνυμική συνάρτηση 5<sup>ου</sup> βαθμού της καμπύλης παρεμβολής τους. Στα διαγράμματα του πρώτου πίνακα, ο σταθερός όρος των πολυωνύμων είναι  $a_0 = -7E-11$ , οπότε μπορώ να τον αμελήσω. Αυτό άλλωστε ήταν αναμενόμενο, αφού οι καμπύλες πρέπει να περνούν από το σημείο (0,0) ενώ και για μηδενικό σταθερό όρο, τα πολυώνυμα μπορούν να διέρχονται από τα 5 σημεία κάθε στήλης του πίνακα. (Στα παρακάτω διαγράμματα η μεταβλητή  $x$  αντιστοιχεί στο μέγεθος του οριζόντιου άξονα και το  $y$  στο κατακόρυφο.)

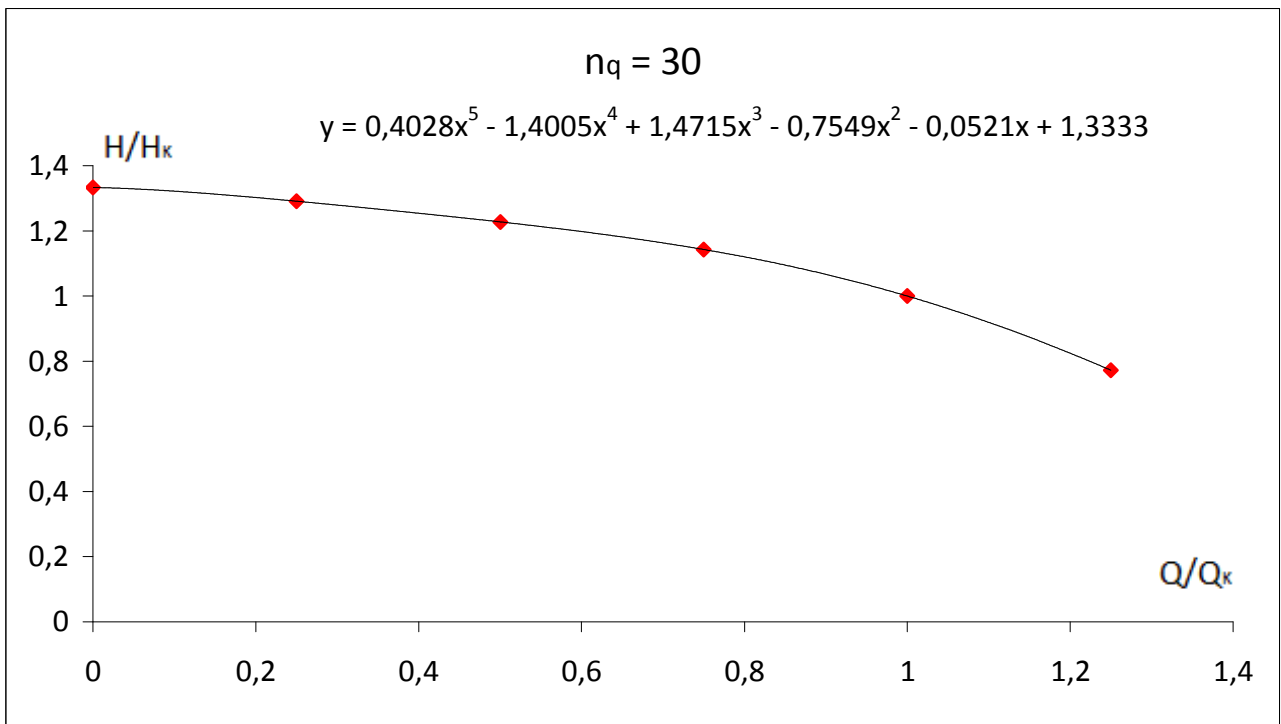
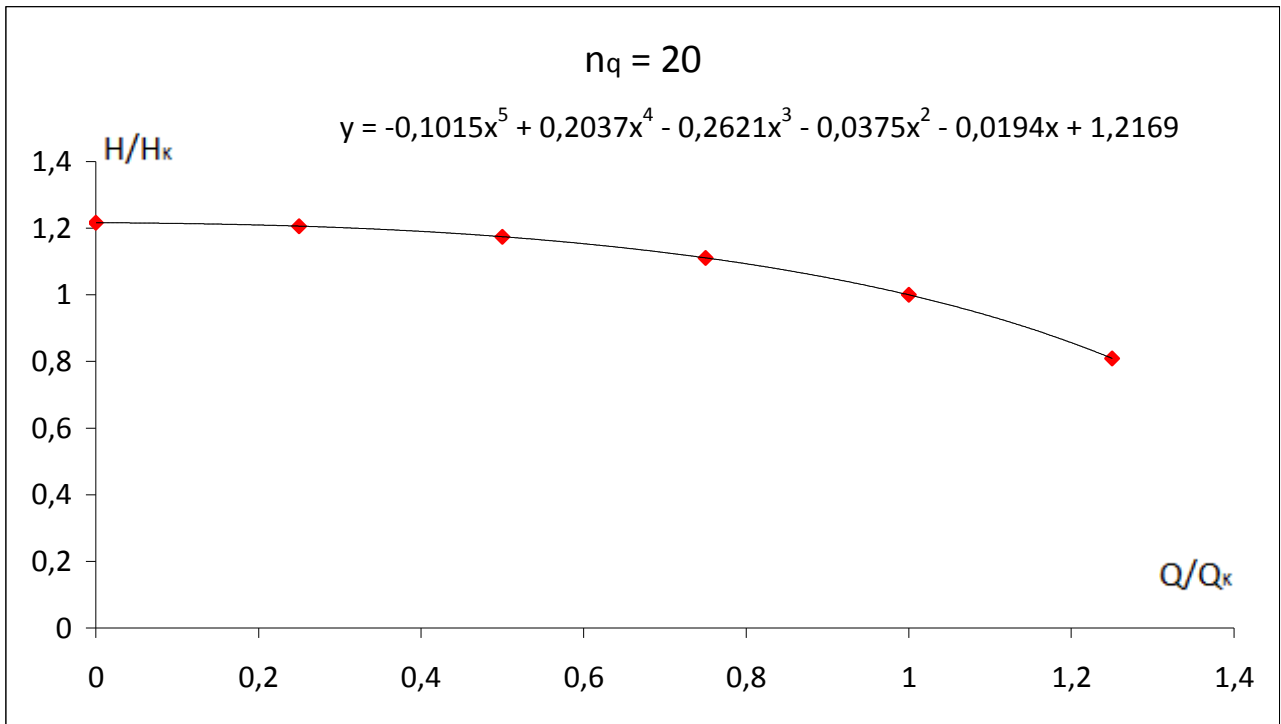


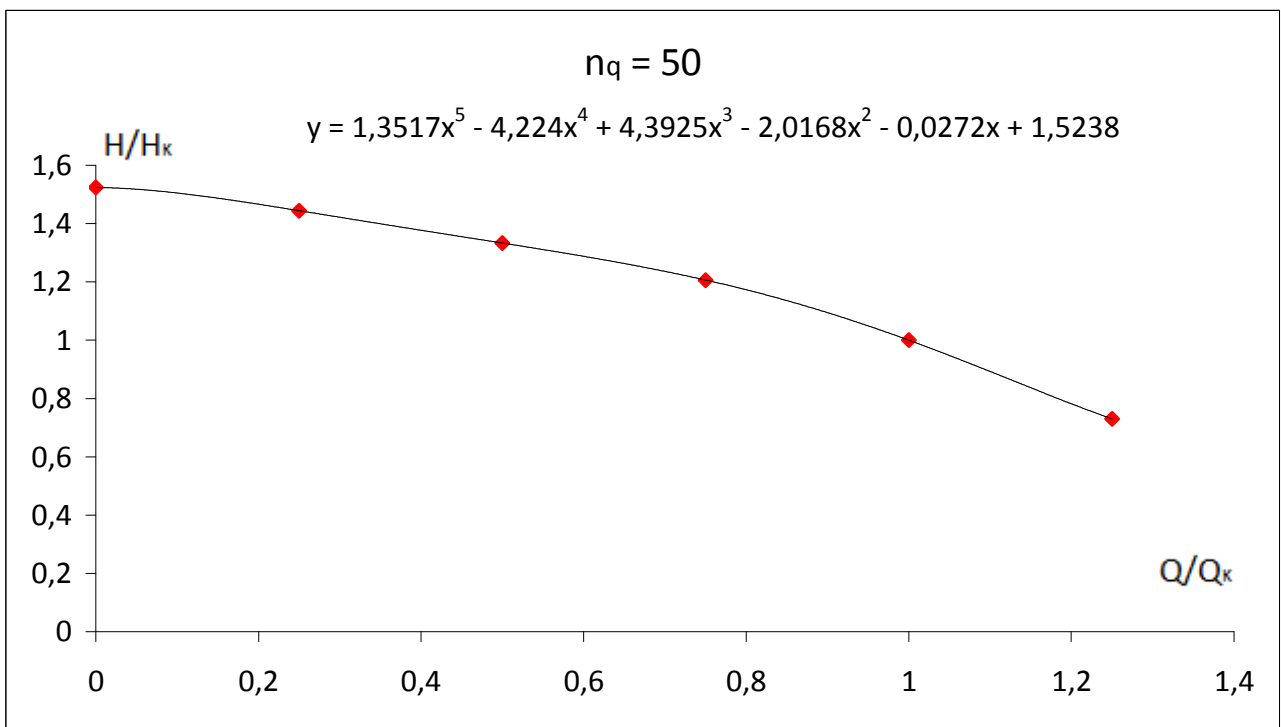
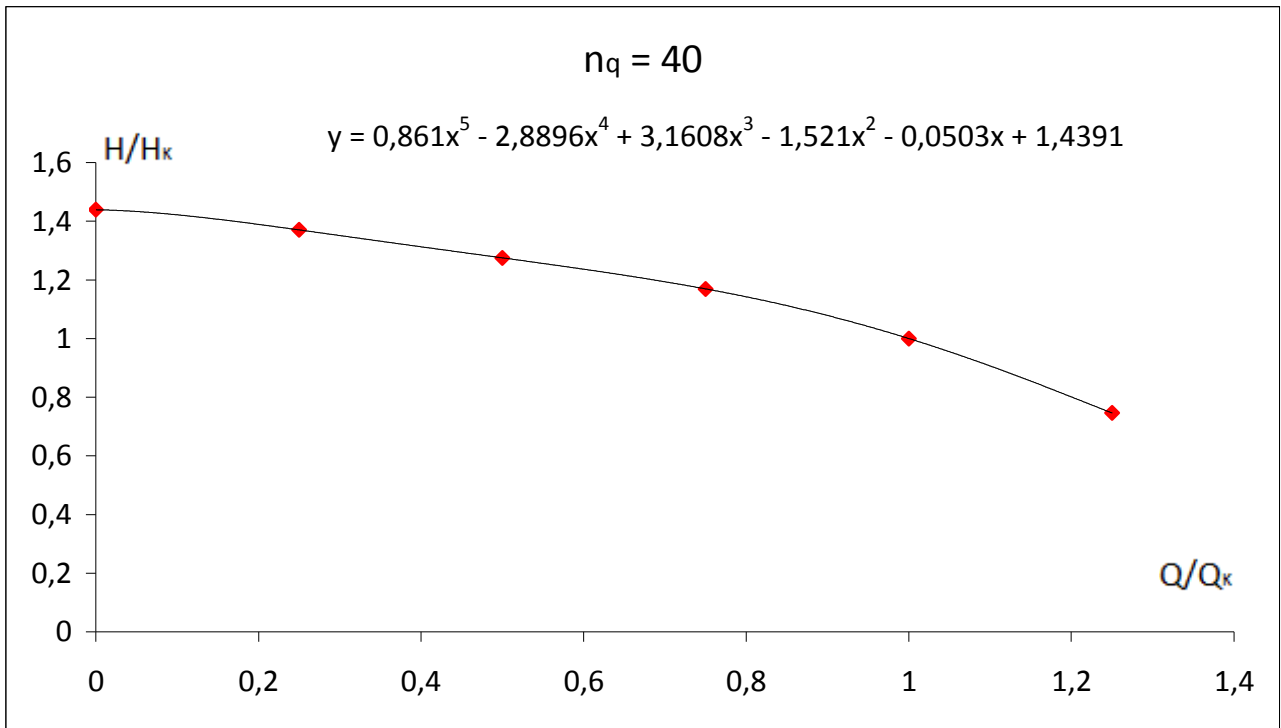


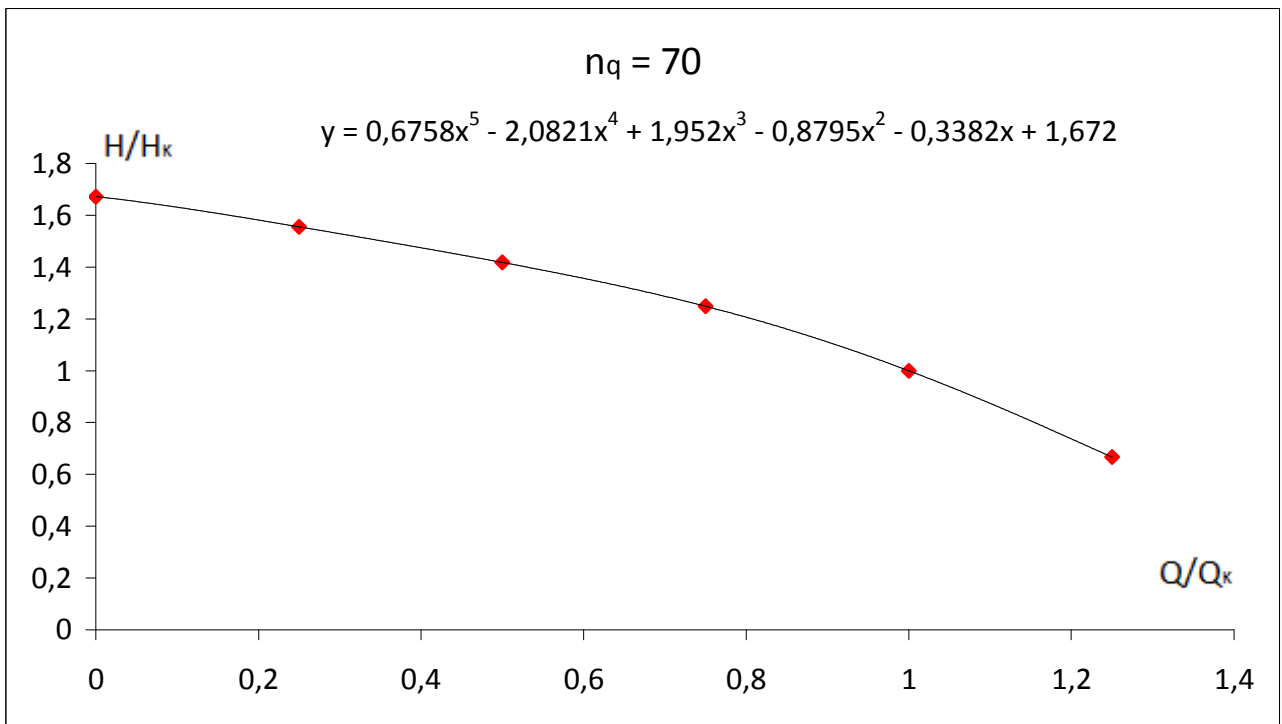
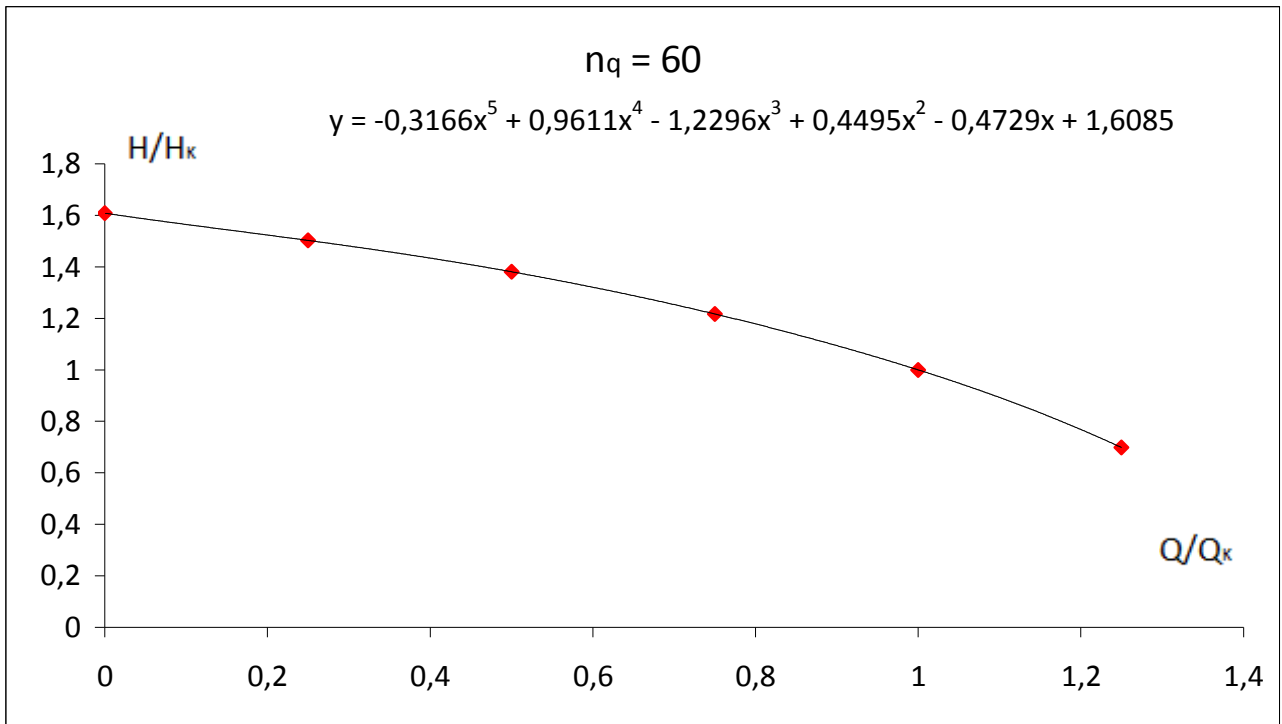


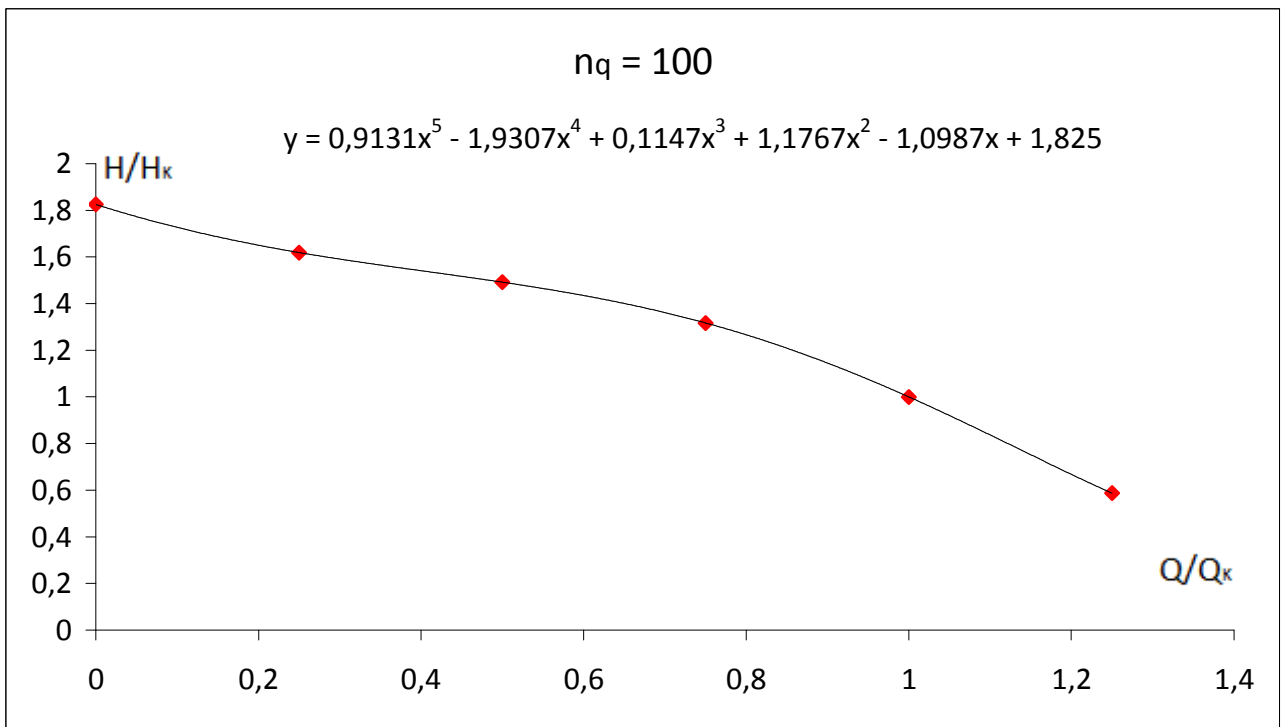
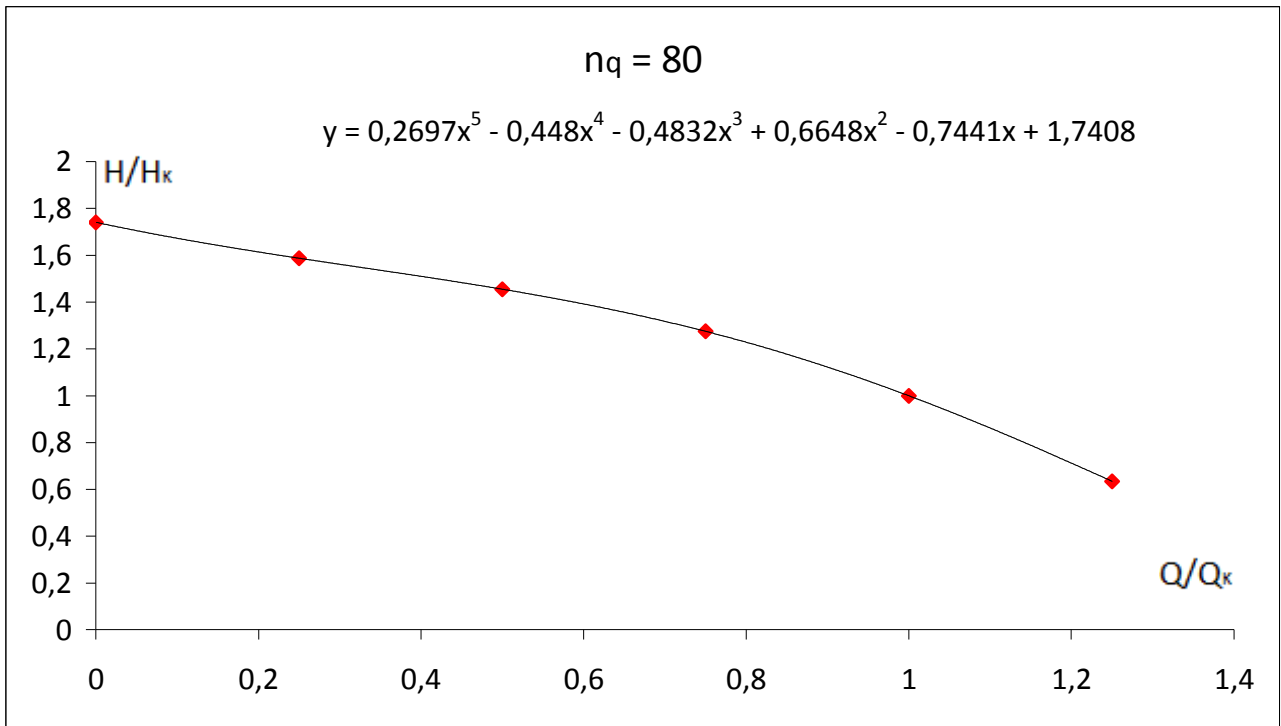














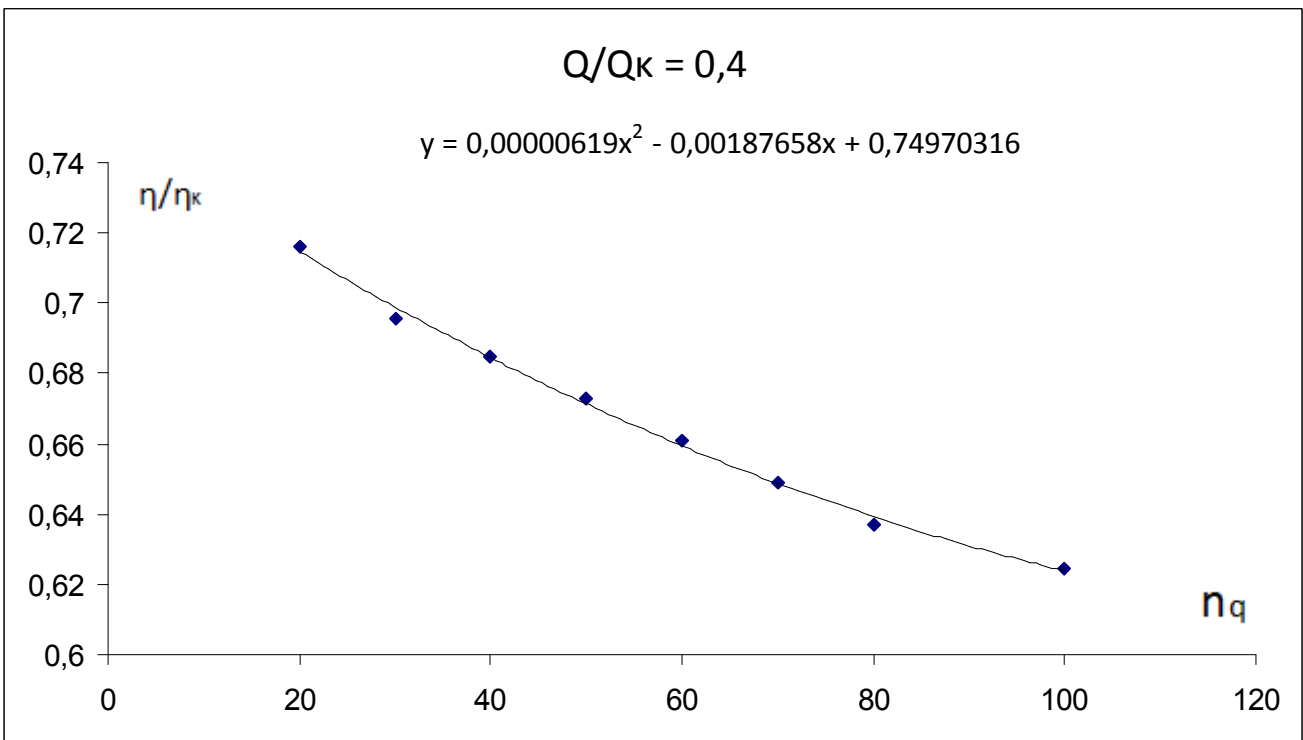
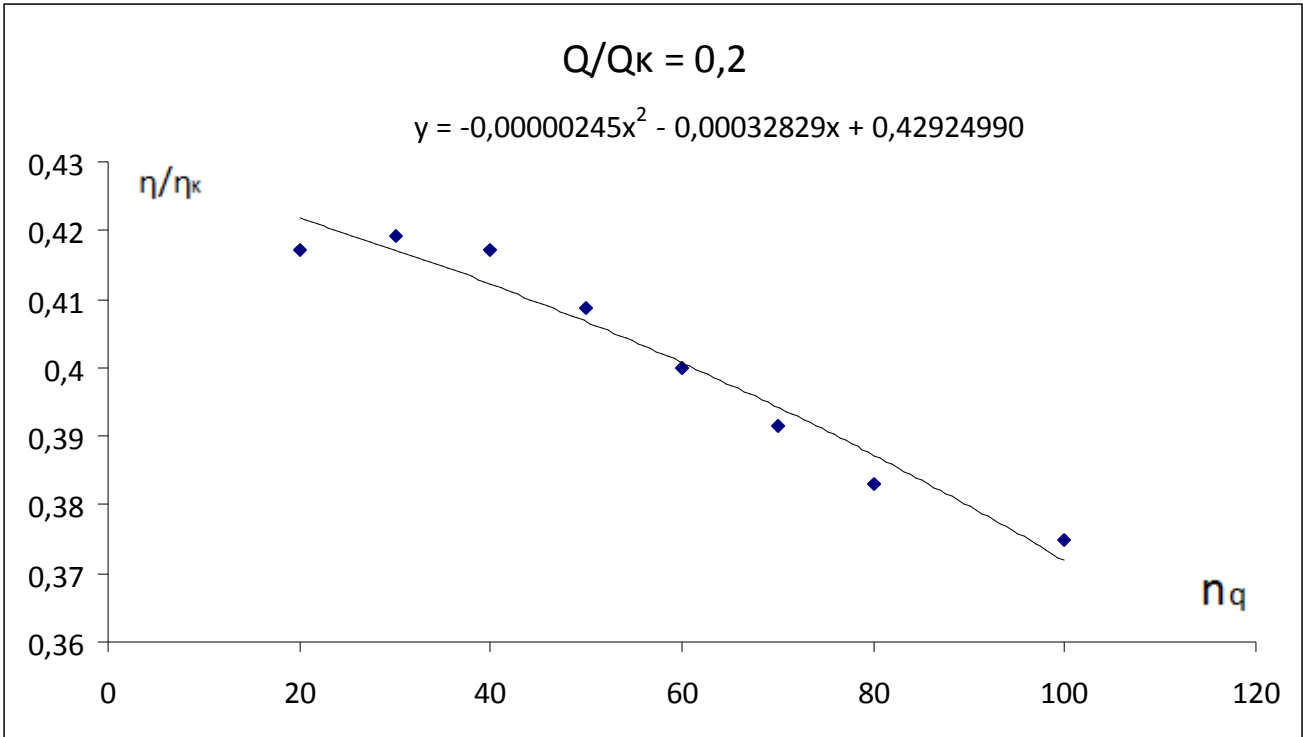
Έχοντας πλέον τις αναλυτικές εκφράσεις των αδιάστατων καμπυλών  $\eta - Q$  και  $H - Q$ , μπορώ για επιλεγμένες τιμές της αδιάστατης παροχής όγκου να κατασκευάσω αδιάστατες καμπύλες  $\eta - n_q$  και  $H - n_q$ . Επιλέγω εύρος από 0% έως 140% και βήμα 20% και στις θέσεις αυτές παίρνω τιμές από κάθε πολυώνυμο παραπάνω, ώστε οι προκύπτουσες καμπύλες να καλύπτουν όλο το φάσμα της πραγματικής λειτουργίας κάθε πτερωτής με επαρκή πυκνότητα σημείων. Από τα σημεία που βρίσκω, κατασκευάζω τα διαγράμματα με παράμετρο πια την αδιάστατη παροχή:

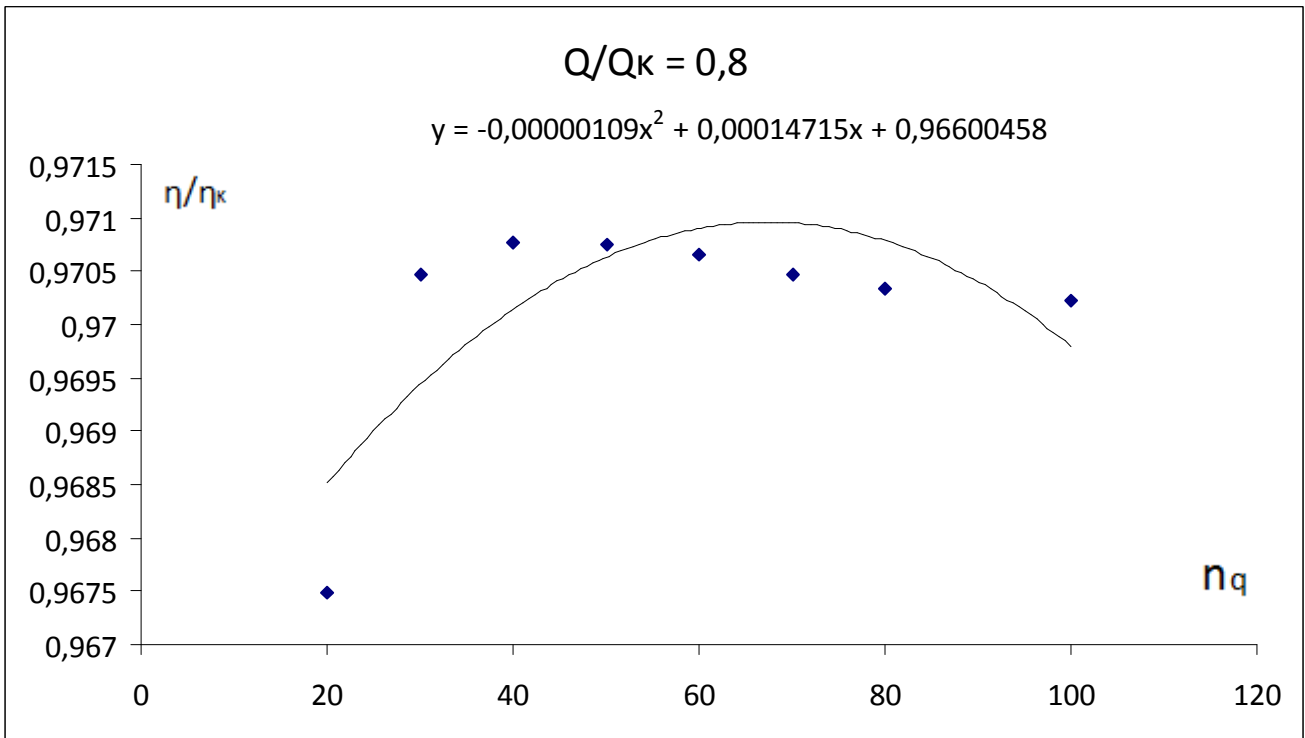
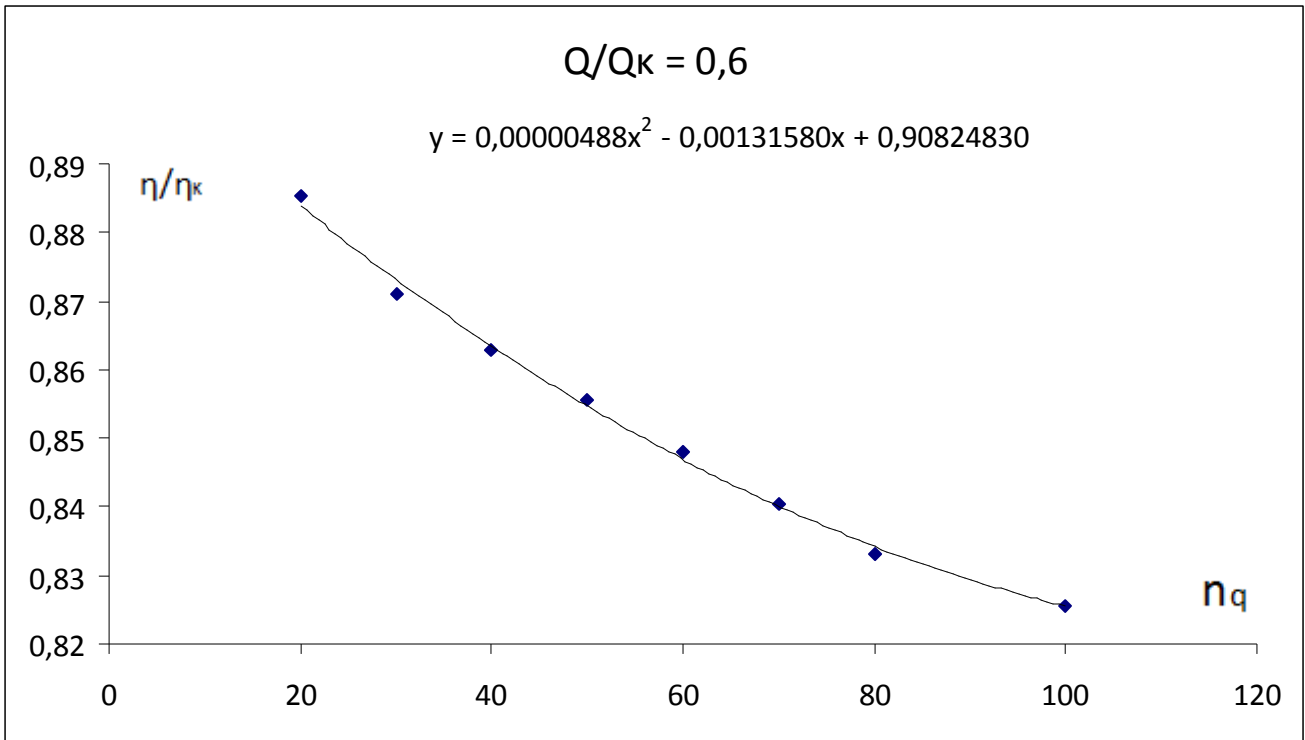
$\eta/\eta_k$								
$Q/Q_k$	$n_q = 20$	$n_q = 30$	$n_q = 40$	$n_q = 50$	$n_q = 60$	$n_q = 70$	$n_q = 80$	$n_q = 100$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	0,4173	0,4194	0,4172	0,4086	0,4	0,3914	0,383	0,3749
0,4	0,7161	0,6958	0,6849	0,6729	0,6608	0,6488	0,6367	0,6247
0,6	0,8853	0,8709	0,8629	0,8555	0,8479	0,8405	0,8332	0,8257
0,8	0,9675	0,9705	0,9708	0,9708	0,9707	0,9705	0,9703	0,9702
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,2	0,9565	0,9413	0,9273	0,9072	0,8868	0,8677	0,8556	0,8384
1,4	0,6884	0,7481	0,727	0,6537	0,5795	0,5116	0,4799	0,4233

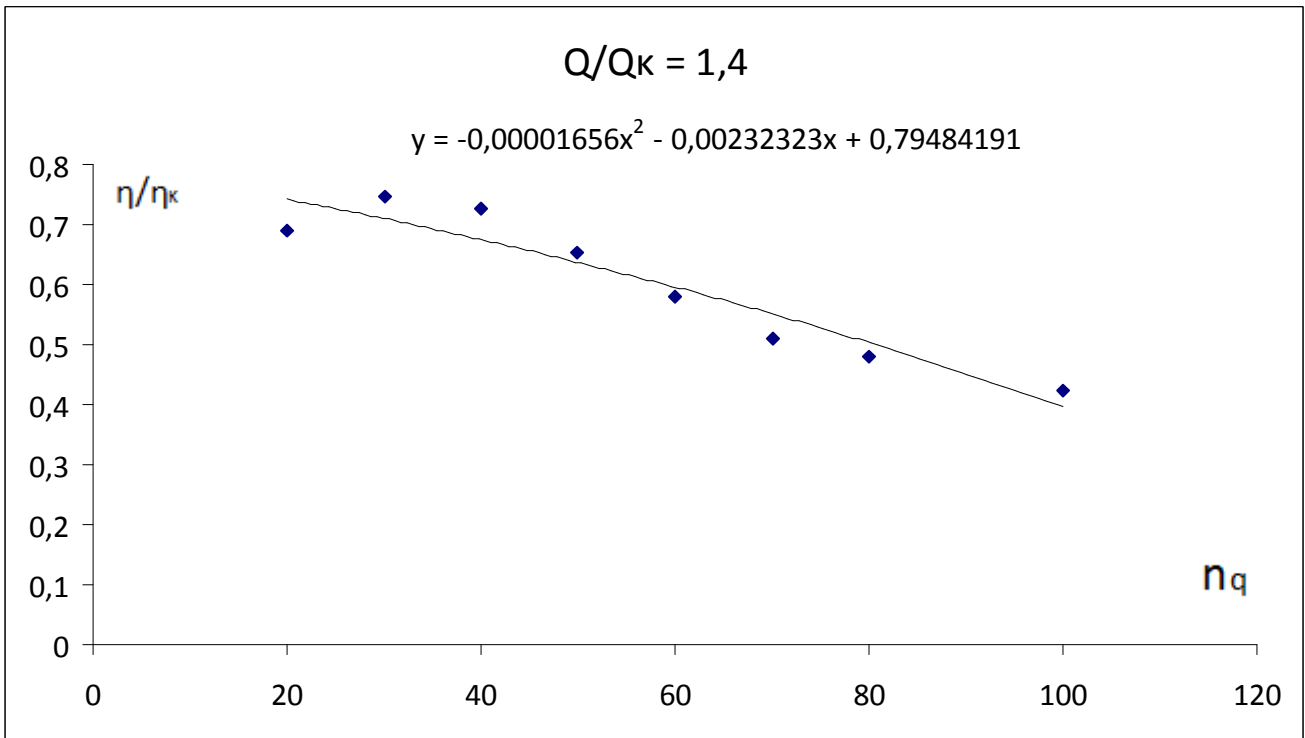
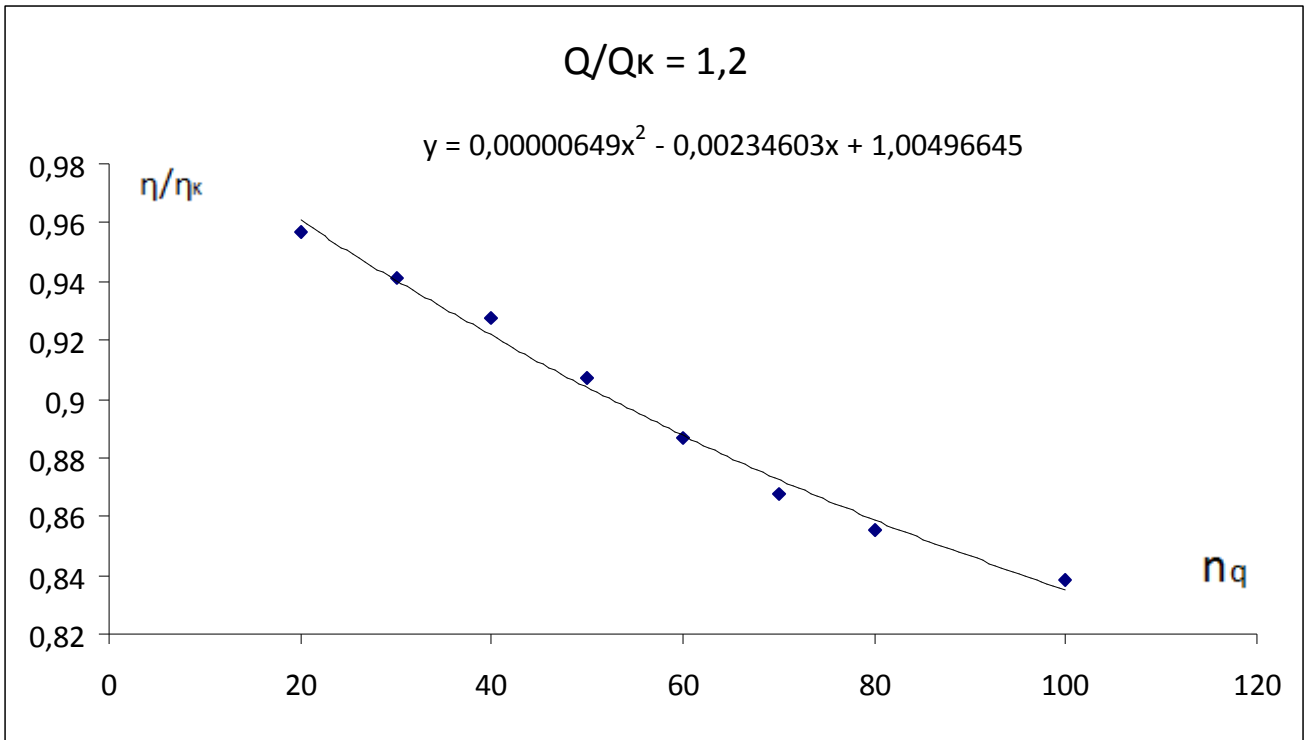
Πίνακας  $\eta/\eta_k - n_q$ , με παράμετρο  $Q/Q_k$

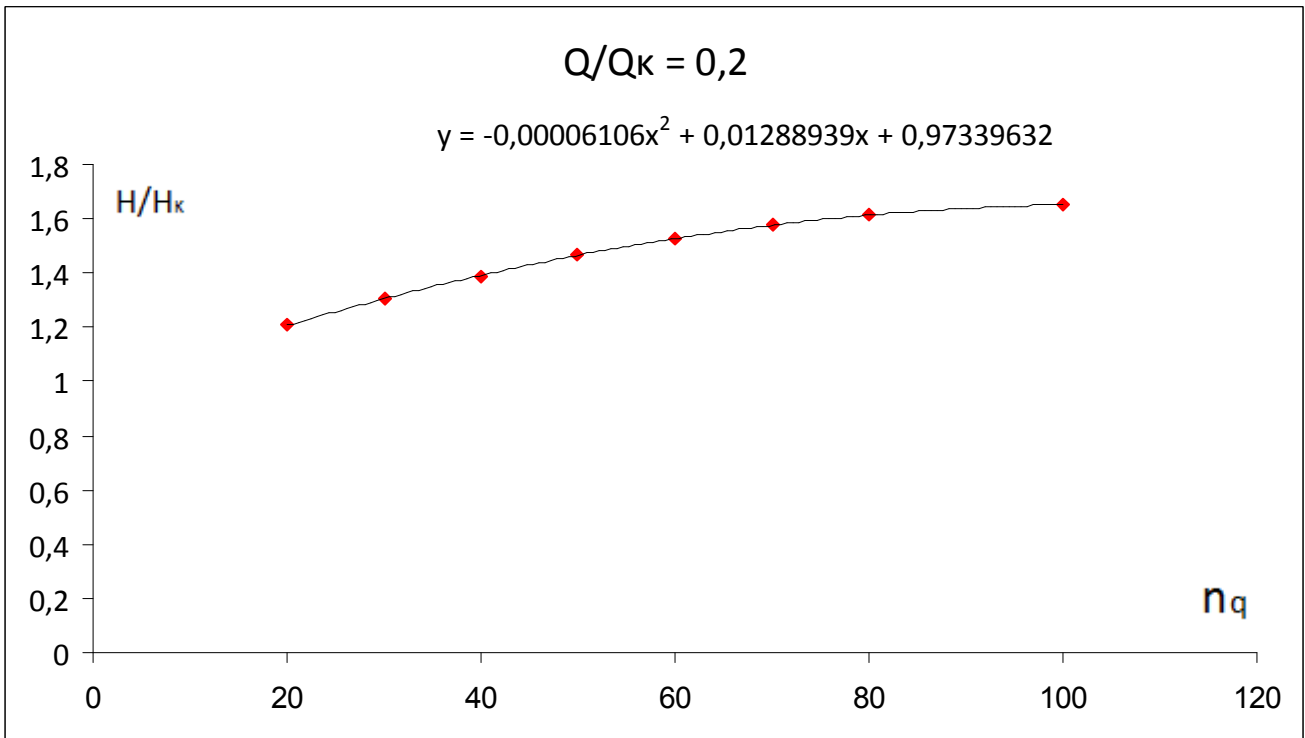
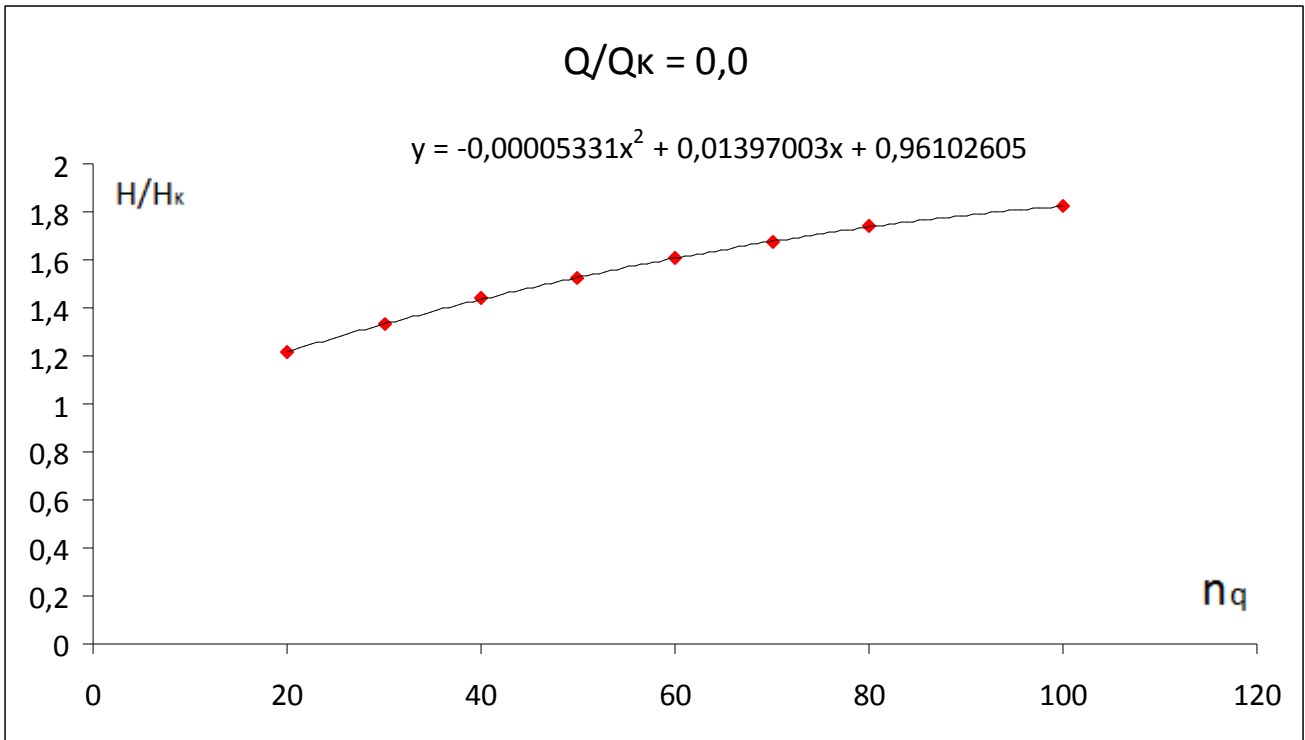
$H/H_k$								
$Q/Q_k$	$n_q = 20$	$n_q = 30$	$n_q = 40$	$n_q = 50$	$n_q = 60$	$n_q = 70$	$n_q = 80$	$n_q = 100$
0	1,2169	1,3333	1,4391	1,5238	1,6085	1,672	1,7408	1,825
0,2	1,2097	1,3023	1,3891	1,4665	1,5235	1,5817	1,6141	1,6504
0,4	1,1905	1,2541	1,3128	1,3771	1,4339	1,4745	1,5099	1,5411
0,6	1,1537	1,1979	1,2366	1,2879	1,3209	1,3568	1,3922	1,435
0,8	1,0934	1,1202	1,1423	1,173	1,1782	1,2066	1,2285	1,2662
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,2	0,8565	0,8247	0,8009	0,7818	0,7687	0,7369	0,7124	0,6678
1,4	0,6337	0,6047	0,5907	0,6287	0,4428	0,467	0,4056	0,4018

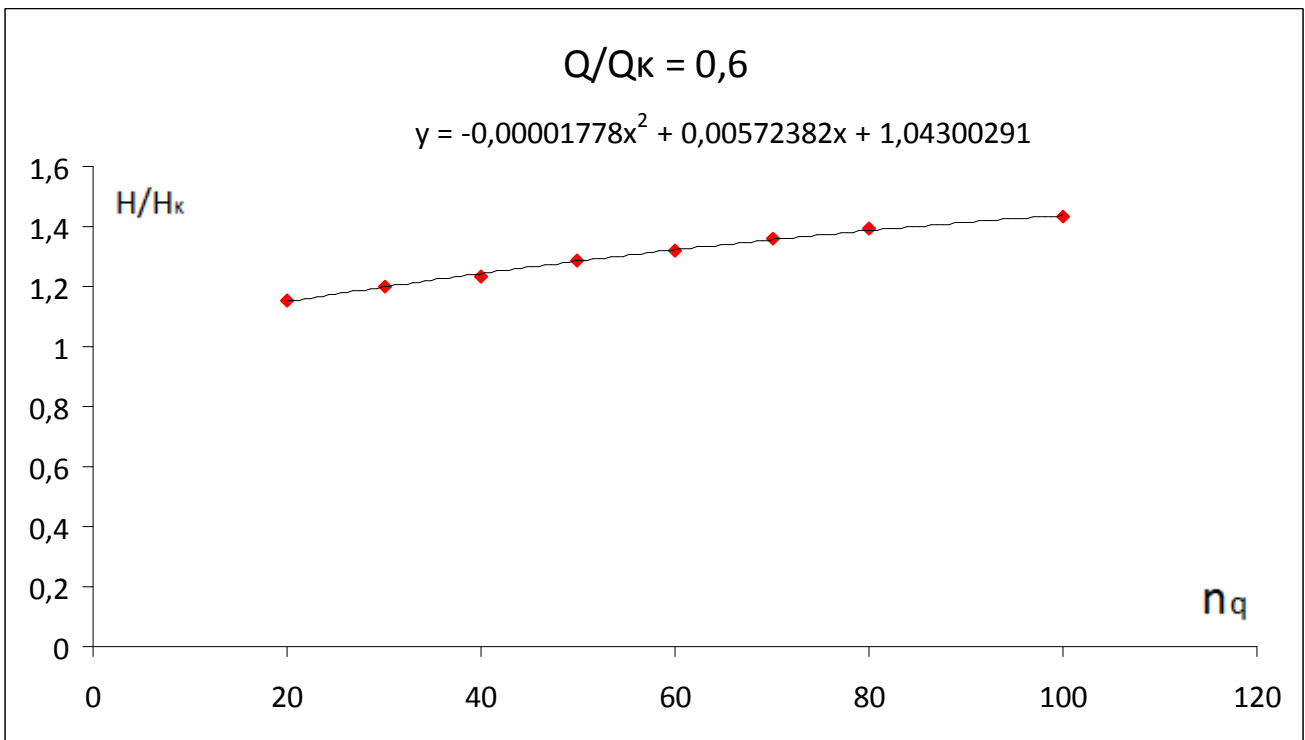
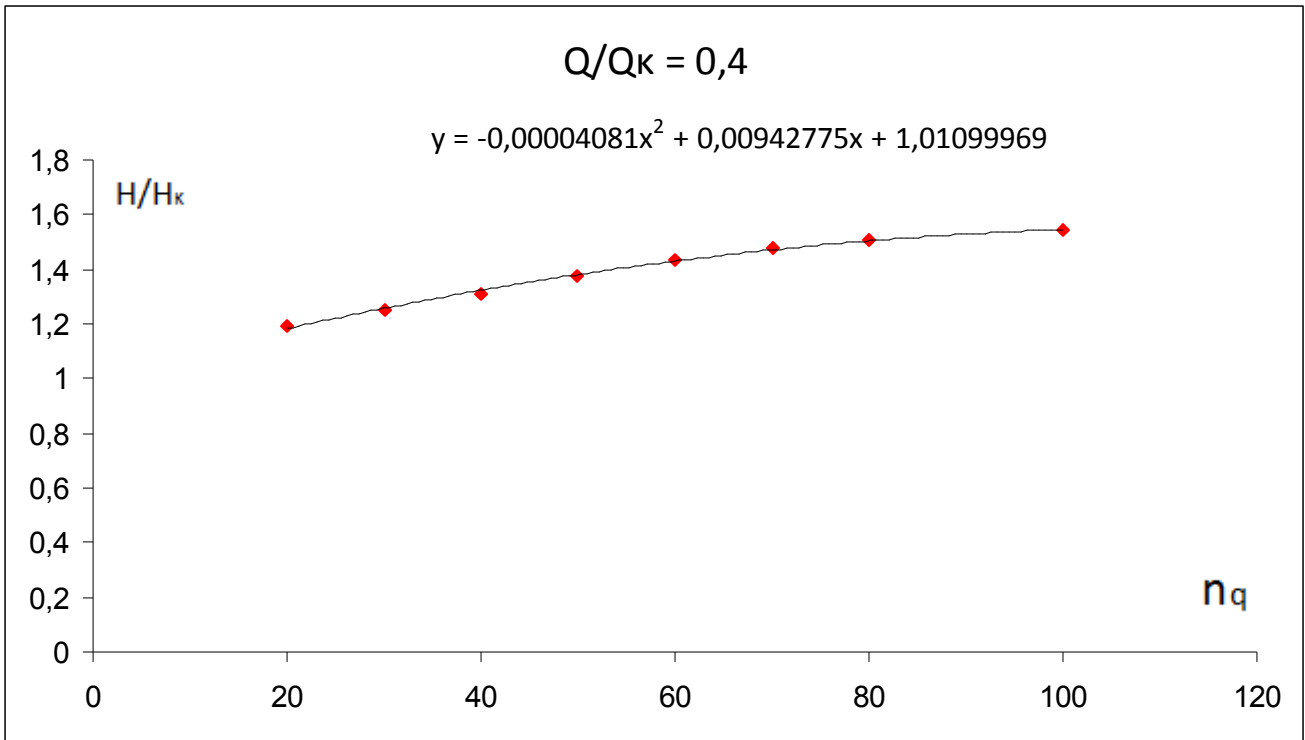
Πίνακας  $H/H_k - n_q$ , με παράμετρο  $Q/Q_k$

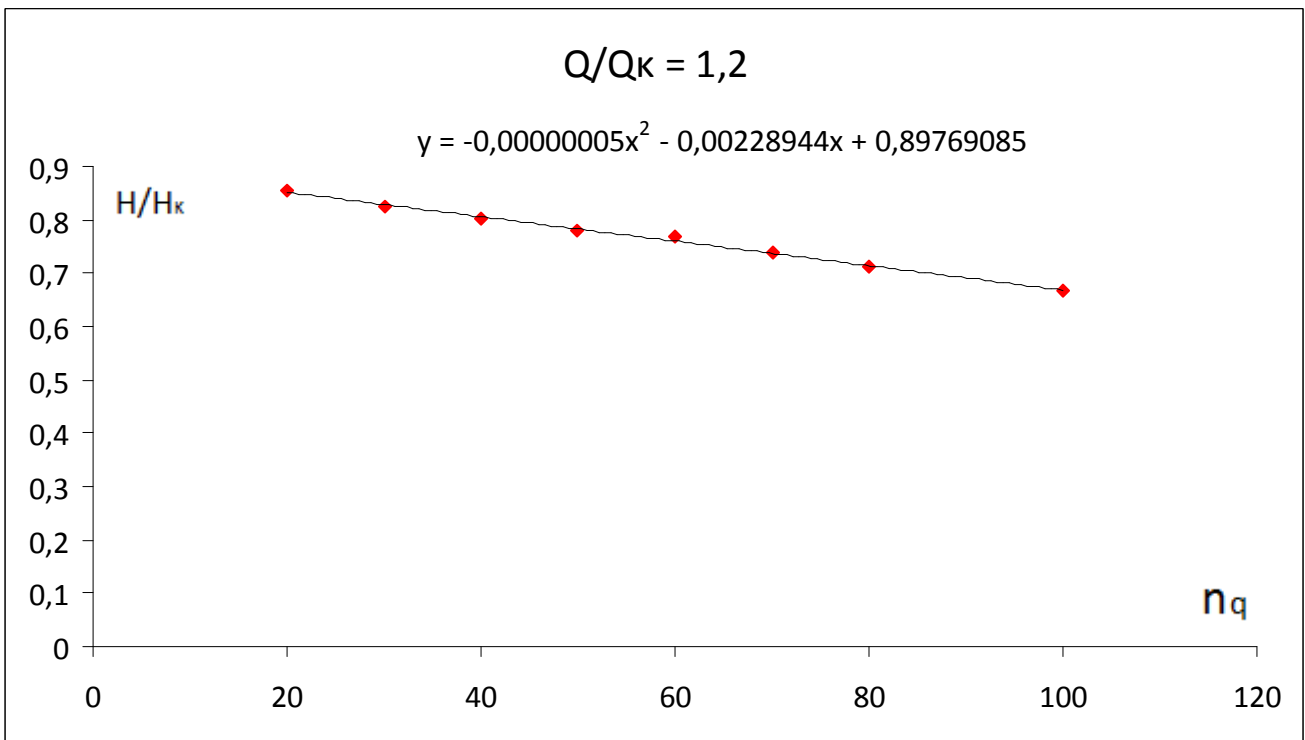
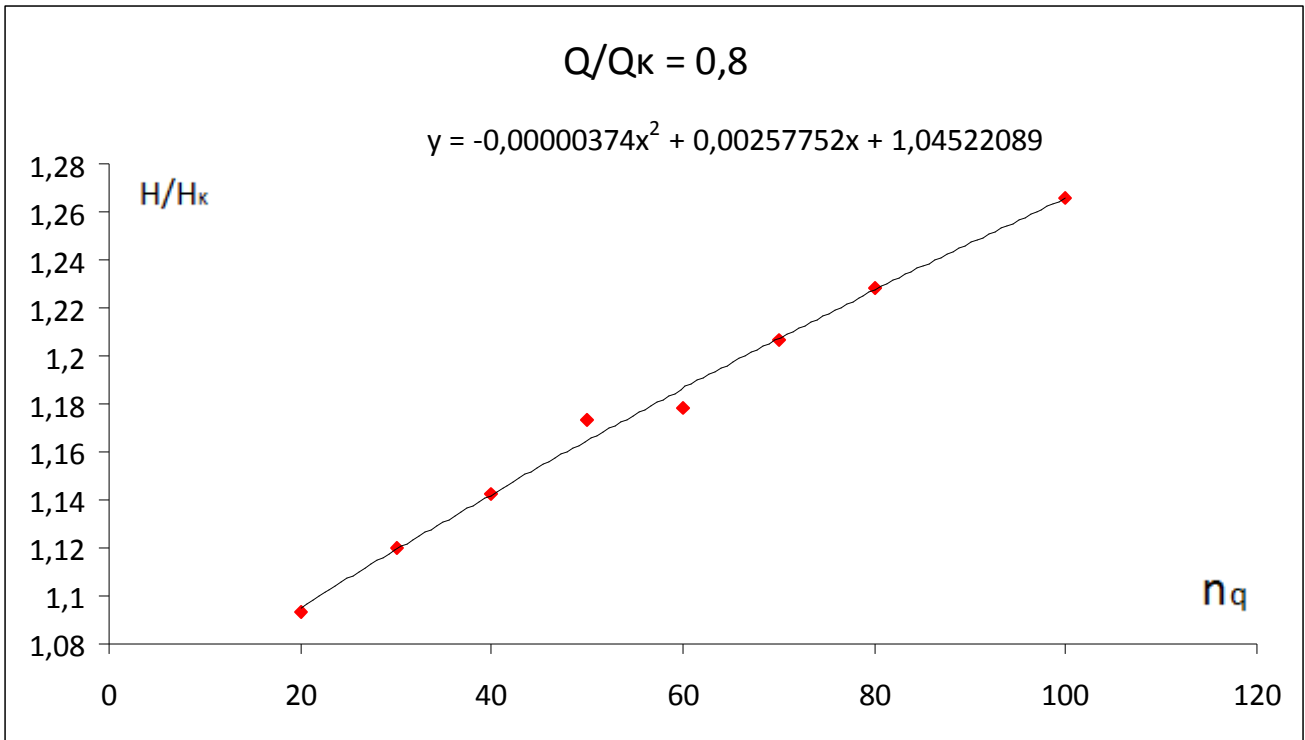


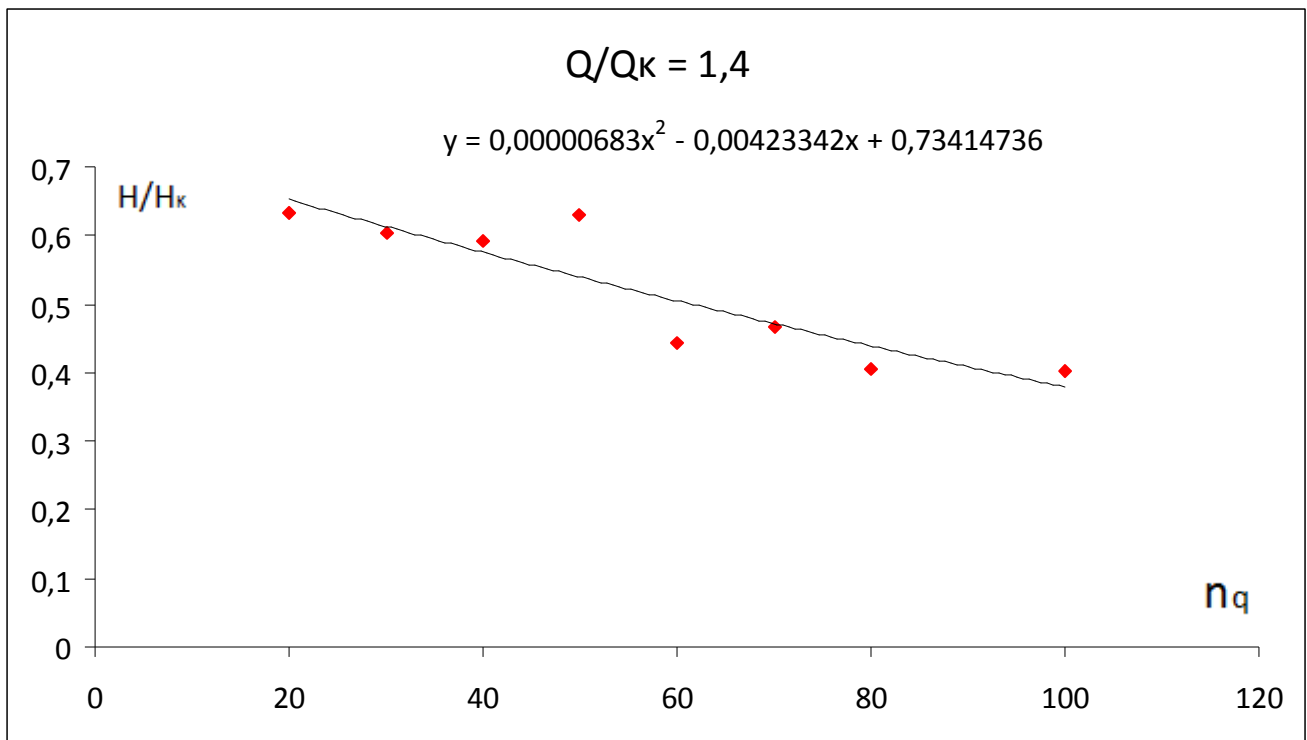












Από τα παραπάνω πολυώνυμα, μπορεί πλέον να υπολογιστεί ο σχετικός βαθμός απόδοσης  $\eta/\eta_k$  και το ανηγμένο ύψος  $H/H_k$  για κάθε τιμή του ειδικού αριθμού στροφών  $n_q$ , για τις παραπάνω τιμές της αδιάστατης παροχής  $Q/Q_k$ . Παρατηρείται ότι τα πολυώνυμα κάνουν προσέγγιση της εκτιμώμενης κατά Sulzer τιμής και όχι παρεμβολή. Ωστόσο, δίνουν σχετική ακρίβεια η οποία κρίνεται επαρκής, αφού σκοπός της εργασίας είναι ακριβώς η εκτίμηση των μεγεθών της αντλητικής εγκατάστασης.



## ■ Κώδικας του Προγράμματος (FORTRAN '90)

```
1          PROGRAM CENTRIFUGAL_PUMPS_DIMENSIONS_ESTIMATOR
2          40  WRITE (*,*) "Δώστε υδροστατικό ύψος:"
3          WRITE (*,*)
4          WRITE (*,*) "Για ft, πιέστε 1"
5          WRITE (*,*)
6          WRITE (*,*) "Για bar, πιέστε 2"
7          WRITE (*,*)
8          WRITE (*,*) "Για psi, πιέστε 3"
9          WRITE (*,*)
10         WRITE (*,*) "Για mΣΥ, πιέστε οποιονδήποτε άλλο ακέραιο"
11         WRITE (*,*)
12         READ (*,*) I
13         WRITE (*,*)
14         WRITE (*,*) "Δώστε τώρα την τιμή:"
15         WRITE (*,*)
16         READ (*,*) H
17         WRITE (*,*)
18         IF (I.EQ.1) THEN
19             GOTO 1
20         ELSEIF (I.EQ.2) THEN
21             GOTO 2
22         ELSEIF (I.EQ.3) THEN
23             GOTO 3
24         ELSE
25             GOTO 4
26         ENDIF
27         1   H = H*0.3048
28         GOTO 4
29         2   H = H*10.2143
30         GOTO 4
31         3   H = H*0.704250913
32         4   CONTINUE
33         WRITE (*,*)
34         WRITE (*,*) "Δώστε παροχή μάζας:"
35         WRITE (*,*)
36         WRITE (*,*) "Για m^3/hr, δώστε 1"
37         WRITE (*,*)
38         WRITE (*,*) "Για gallons/min, δώστε 2"
```

```

39      WRITE (*,*)
40      WRITE (*,*) "Για ft^3/sec, δώστε 3"
41      WRITE (*,*)
42      WRITE (*,*) "Για m^3/sec, δώστε οποιονδήποτε άλλο ακέραιο"
43      WRITE (*,*)
44      READ (*,*) J
45      WRITE (*,*)
46      WRITE (*,*) " Δώστε τώρα την τιμή:"
47      WRITE (*,*)
48      READ (*,*) Q
49      WRITE (*,*)
50      IF (J.EQ.1) THEN
51          GOTO 15
52      ELSEIF (J.EQ.2) THEN
53          GOTO 16
54      ELSEIF (J.EQ.3) THEN
55          GOTO 17
56      ELSE
57          GOTO 18
58      ENDIF
59      15  Q = Q/3600.0
60          GOTO 18
61      16  Q = Q/15928.64952
62          GOTO 18
63      17  Q = Q/35.48903112
64      18  CONTINUE
65          H1 = 100
66          IF (H.GE.H1) THEN
67              SQ = H**(-0.5518)*828.47
68          ELSE
69              SQ = H**(-0.6492)*548.56
70          ENDIF
71      19  WRITE (*,*) "Για αντλία απλής αναρρόφησης, πιέστε1"
72          WRITE (*,*)
73          WRITE (*,*) "Για αντλία διπλής αναρρόφησης, πιέστε 2"
74          WRITE (*,*)
75          WRITE (*,*) "Για πολυβάθμια αντλητική εγκατάσταση με ΜΙΑ ομάδα"
76          WRITE (*,*) "πτερωτών, πιέστε 3"
77          WRITE (*,*)
78          WRITE (*,*) "Για πολυβάθμια αντλητική εγκατάσταση με ΔΥΟ ομάδες"
79          WRITE (*,*) "πτερωτών, εκατέρωθεν πτερωτής διπλής αναρρόφησης"
80          WRITE (*,*) "(το ήμισυ της παροχής όγκου σε κάθε ομάδα), πιέστε 4"

```

```

81      WRITE (*,*)
82      READ (*,*) L
83      IF (L.EQ.1) THEN
84          CONTINUE
85      ELSEIF (L.EQ.2) THEN
86          Q = Q/2.0
87      ELSEIF (L.EQ.3) THEN
88          WRITE (*,*) "Δώστε αριθμό βαθμίδων της εγκατάστασης:"
89          WRITE (*,*)
90          READ (*,*) IPTER
91          PTER = IPTER
92          H = H/PTER
93      ELSEIF (L.EQ.4) THEN
94          WRITE (*,*) "Οι πτερωτές τοποθετούνται συμμετρικά. Δώστε αριθμό"
95          WRITE (*,*) "βαθμίδων σε κάθε ομάδα (ΕΚΤΟΣ διπλής αναρρόφησης):"
96          WRITE (*,*)
97          READ (*,*) IPTER2
98          Q = Q/2.0
99          PTER2 = IPTER2
100         H = H/(2.0*(PTER2+1.0))
101     ELSE
102         WRITE (*,*) "Αδύνατη επιλογή, δοκιμάστε ξανά"
103         WRITE (*,*)
104         GOTO 19
105     ENDIF
106     WRITE (*,*)
107     WRITE (*,*) "Για να προεπιλέξετε ταχύτητα περιστροφής (rpm)"
108     WRITE (*,*) "πιέστε 1. Για να επιλέξει το πρόγραμμα αυτόματα,"
109     WRITE (*,*) "πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο"
110     WRITE (*,*)
111     READ (*,*) NCHOISE
112     WRITE (*,*)
113     IF (NCHOISE.EQ.1) THEN
114         GOTO 31
115     ELSE
116         CONTINUE
117     ENDIF
118     SQ = H**(-0.4486)*261.74
119     STROFES = SQ*(H**0.75)/(Q**0.5)
120     STROFES1 = 533.33
121     STROFES2 = 650.00
122     STROFES3 = 833.33

```

```

123      STROFES4 = 1166.67
124      STROFES5 = 2000.00
125      IF (STROFES.LT.STROFES1) THEN
126          GOTO 21
127      ELSEIF (STROFES.LT.STROFES2.AND.STROFES.GE.STROFES1) THEN
128          GOTO 22
129      ELSEIF (STROFES.LT.STROFES3.AND.STROFES.GE.STROFES2) THEN
130          GOTO 23
131      ELSEIF (STROFES.LT.STROFES4.AND.STROFES.GE.STROFES3) THEN
132          GOTO 24
133      ELSEIF (STROFES.LT.STROFES5.AND.STROFES.GE.STROFES4) THEN
134          GOTO 25
135      ELSEIF (STROFES2.GE.STROFES5) THEN
136          GOTO 26
137      ENDIF
138      21      STROFES = 485
139            N = 6
140            GOTO 30
141      22      STROFES = 580
142            N = 5
143            GOTO 30
144      23      STROFES = 725
145            N = 4
146            GOTO 30
147      24      STROFES = 960
148            N = 3
149            GOTO 30
150      25      STROFES = 1450
151            N = 2
152            GOTO 30
153      26      STROFES = 2900
154            N = 1
155      30      SQ = STROFES*(Q**0.5)/(H**0.75)
156            FCRIT = 0.001212*(SQ**1.33)
157            HCRIT = H*FCRIT
158            HE = 10.148-HCRIT-0.02*H
159            FA=810*((SQ/10000)**0.707)
160            U=0.82+0.0064*SQ-3.3*(SQ**2)/1000000
161            D1=550*FA*(H**0.5)/STROFES
162            D2=84600*U*(H**0.5)/STROFES
163            A=0.835*D2
164            E=1.065*D2

```

```

165      F=0.98*D2
166      G=0.89*D2
167      Z=0.3*D2
168      R3=0.18*D2
169      R4=0.155*D2
170      R5=0.125*D2
171      R6=0.09*D2
172      V = 3.14159*STROFES*D2/60000.0
173      Q1 = Q*3600.0
174      DNQ = Q1**(-0.3274237)*10**(-0.1498048)
175      SQ1 = 2.043657059*(SQ**0.1334947895)
176      DN0 = 0.29*(3.4246339-SQ1)**2.0
177      BA = 0.9243904-DNQ-DN0
178
179      P = 9790.2*H*Q/BA
180      P1 = P/1000.0
181
182      IF (L.EQ.2) THEN
183          P1 = 2.0*P1
184      ELSEIF (L.EQ.3) THEN
185          P1 = PTER*P1
186          H = PTER*H
187      ELSEIF (L.EQ.4) THEN
188          P1 = P1*2.0*(PTER2+1.0)
189          H = (PTER2+1.0)*H
190      ELSE
191          CONTINUE
192      ENDIF
193
194      BA020 = - 0.00000245*SQ**2 - 0.00032829*SQ + 0.4292499
195      BA040 = 0.00000619*SQ**2 - 0.00187658*SQ + 0.74970316
196      BA060 = 0.00000488*SQ**2 - 0.00131580*SQ + 0.90824830
197      BA080 = - 0.00000109*SQ**2 + 0.00014715*SQ + 0.96600458
198      BA120 = 0.00000649*SQ**2 - 0.00187658*SQ + 1.00496645
199      BA140 = - 0.00001656*SQ**2 - 0.00232323*SQ + 0.79484191
200
201
202      H000 = - 0.00005331*SQ**2 + 0.01397003*SQ + 0.96102605
203      H020 = - 0.00006106*SQ**2 + 0.01288939*SQ + 0.97339632
204      H040 = - 0.00004081*SQ**2 + 0.00942775*SQ + 1.01099969
205      H060 = - 0.00001778*SQ**2 + 0.00572382*SQ + 1.04300291
206      H080 = - 0.00000374*SQ**2 + 0.00257752*SQ + 1.04522089

```

```

207      H120 = - 0.00000005*SQ**2 - 0.00228944*SQ + 0.89769085
208      H140 = + 0.00000683*SQ**2 - 0.00423342*SQ + 0.73414736
209
210      BAR000 = 0
211      BAR020 = BA020*BA
212      BAR040 = BA040*BA
213      BAR060 = BA060*BA
214      BAR080 = BA080*BA
215      BAR100 = BA
216      BAR120 = BA120*BA
217      BAR140 = BA140*BA
218
219
220      HR000 = H000*H
221      HR020 = H020*H
222      HR040 = H040*H
223      HR060 = H060*H
224      HR080 = H080*H
225      HR100 = H
226      HR120 = H120*H
227      HR140 = H140*H
228
229      IF (BA.LE.0.0) THEN
230          WRITE (*,*)
231          WRITE (*,*) "Μη αποδεκτά δεδομένα, δοκιμάστε ξανά:"
232          WRITE (*,*)
233          GOTO 40
234      ELSE
235          CONTINUE
236      ENDIF
237      IF (L.EQ.1) THEN
238          CONTINUE
239      ELSEIF (L.EQ.2) THEN
240          WRITE (*,*)
241          WRITE (*,*) "Αντλία Διπλής Αναρρόφησης. Οι παρακάτω διαστάσεις"
242          WRITE (*,*) "εκτιμώνται για το κοινό σπειροειδές κέλυφος των"
243          WRITE (*,*) "2 πτερωτών:"
244          WRITE (*,*)
245      ELSEIF (L.EQ.3) THEN
246          WRITE (*,*)
247          WRITE (*,*) IPTER, "πτερωτές εν σειρά. Οι παρακάτω διαστάσεις"
248          WRITE (*,*) "εκτιμώνται για το σπειροειδές κέλυφος της"

```

```

249     WRITE (*,*) "τελευταίας κατά σειρά πτερωτής."
250     WRITE (*,*)
251 ELSE
252     WRITE (*,*)
253     WRITE (*,*) IPTER, "πτερωτές εν σειρά σε κάθε ομάδα, εκατέρωθεν"
254     WRITE (*,*) "της πτερωτής διπλής αναρρόφησης, για της οποίας το"
255     WRITE (*,*) "σπειροειδές κάλυφος εκτιμώνται οι παρακάτω"
256     WRITE (*,*) "διαστάσεις:"
257     WRITE (*,*)
258 ENDIF
259 WRITE (*,*)
260 WRITE (*,*) "nq = ", SQ, " rpm "
261 WRITE (*,*) "( H σε mΣΥ, Q σε m^3/sec)"
262 WRITE (*,*)
263 WRITE (*,*) "nq = ", SQ*60.0, " rpm "
264 WRITE (*,*) "( H σε mΣΥ, Q σε m^3/hr)"
265 WRITE (*,*)
266 WRITE (*,*) "nq = ", SQ*51.645, " rpm "
267 WRITE (*,*) "( H σε ft, Q σε gallons/min)"
268 WRITE (*,*)
269 WRITE (*,*) "Υψος τοποθέτησης αντλίας: he < ", HE, " m"
270 WRITE (*,*)
271 IF (HE.LT.-20.0) THEN
272     WRITE (*,*)
273     WRITE (*,*) "ΠΡΟΣΟΧΗ: Η αντλητική εγκατάσταση τοποθετείται"
274     WRITE (*,*) "βαθύτερα από 20 m υπογείως, αντιοικονομική"
275     WRITE (*,*) "εγκατάσταση. Προτείνεται να δοκιμάσετε με νέες"
276     WRITE (*,*) "επιλογές"
277     WRITE (*,*)
278 ELSE
279     CONTINUE
280 ENDIF
281 WRITE (*,*)
282 WRITE (*,*) "Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής: n =", STROFES, " rpm"
283 WRITE (*,*)
284 WRITE (*,*) "Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα: p = ", N
285 WRITE (*,*)
286 WRITE (*,*) "Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής: D1 =", D1, " mm"
287 WRITE (*,*)
288 WRITE (*,*) " Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής: D2 =", D2, " mm"
289 WRITE (*,*)
290 WRITE (*,*) "Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):"

```

```

291 WRITE (*,*)
292 WRITE (*,*) "A = J = ", A, " mm"
293 WRITE (*,*)
294 WRITE (*,*) "E = ", E, " mm"
295 WRITE (*,*)
296 WRITE (*,*) "F = ", F, " mm"
297 WRITE (*,*)
298 WRITE (*,*) "G = ", G, " mm"
299 WRITE (*,*)
300 WRITE (*,*) "Z = ", Z, " mm"
301 WRITE (*,*)
302 WRITE (*,*) "R3 = ", R3, " mm"
303 WRITE (*,*)
304 WRITE (*,*) "R4 = ", R4, " mm"
305 WRITE (*,*)
306 WRITE (*,*) "R5 = ", R5, " mm"
307 WRITE (*,*)
308 WRITE (*,*) "R6 = ", R6, " mm"
309 WRITE (*,*)
310 WRITE (*,*) "Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της"
311 WRITE (*,*) "πτερωτής : ", V, " m/sec"
312 WRITE (*,*)
313 WRITE (*,*) "Βαθμός απόδοσης: η = ", BA
314 WRITE (*,*)
315 WRITE (*,*) "Καταναλισκόμενη Ισχύς: P = ", P1, " kW"
316 WRITE (*,*)
317 WRITE (*,*)
318 WRITE (*,*) "Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής H - Q"
319 WRITE (*,*)
320 WRITE (*,*) "Q (%)"           H (mΣΥ)"
321 WRITE (*,*)
322 WRITE (*,*) " 0           ", HR000
323 WRITE (*,*) " 20           ", HR020
324 WRITE (*,*) " 40           ", HR040
325 WRITE (*,*) " 60           ", HR060
326 WRITE (*,*) " 80           ", HR080
327 WRITE (*,*) " 100          ", HR100
328 WRITE (*,*) " 120          ", HR120
329 WRITE (*,*) " 140          ", HR140
330 WRITE (*,*)
331 IF (QANHG1.GT.0.00.AND.QANHG1.LT.0.20) THEN
332     HR = (HR020 - HR000)*(QANHG1 - 0.00)/0.20 + HR000

```



```

333 ELSEIF (QANHG1.GT.0.20.AND.QANHG1.LT.0.40) THEN
334     HR = (HR040 - HR020)*(QANHG1 - 0.20)/0.20 + HR020
335 ELSEIF (QANHG1.GT.0.40.AND.QANHG1.LT.0.60) THEN
336     HR = (HR060 - HR040)*(QANHG1 - 0.40)/0.20 + HR040
337 ELSEIF (QANHG1.GT.0.60.AND.QANHG1.LT.0.80) THEN
338     HR = (HR080 - HR060)*(QANHG1 - 0.60)/0.20 + HR060
339 ELSEIF (QANHG1.GT.0.80.AND.QANHG1.LT.1.00) THEN
340     HR = (HR100 - HR080)*(QANHG1 - 0.80)/0.20 + HR080
341 ELSEIF (QANHG1.GT.1.00.AND.QANHG1.LT.1.20) THEN
342     HR = (HR120 - HR100)*(QANHG1 - 1.00)/0.20 + HR100
343 ELSEIF (QANHG1.GT.1.20.AND.QANHG1.LT.1.40) THEN
344     HR = (HR140 - HR120)*(QANHG1 - 1.20)/0.20 + HR120
345 ELSE
346     WRITE (*,*)
347     WRITE (*,*) "Δεδομένα εκτός διαγράμματος, δοκιμάστε ξανά:"
348     WRITE (*,*)
349     GOTO 33
350 ENDIF
351 WRITE (*,*)
352 WRITE (*,*) "Καμπύλη Βαθμού απόδοσης πτερωτής η - Q:"
353 WRITE (*,*)
354 WRITE (*,*) "Q (%)           η (%)"
355 WRITE (*,*)
356 WRITE (*,*) " 0           ", BAR000
357 WRITE (*,*) " 20          ", BAR020
358 WRITE (*,*) " 40          ", BAR040
359 WRITE (*,*) " 60          ", BAR060
360 WRITE (*,*) " 80          ", BAR080
361 WRITE (*,*) " 100         ", BAR100
362 WRITE (*,*) " 120         ", BAR120
363 IF (BAR140.LT.0) THEN
364     GOTO 33
365 ELSE
366     CONTINUE
367 ENDIF
368 WRITE (*,*) " 140         ", BAR140
369 WRITE (*,*)
370 33 WRITE (*,*)
371 WRITE (*,*) "Για να βρείτε το ύψος H (m) σε ενδιάμεση θέση της "
372 WRITE (*,*) "ανηγμένης παροχής, πιέστε 1"
373 WRITE (*,*)
374 WRITE (*,*) "Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:"

```

```

375 WRITE (*,*)
376 READ (*,*) ICHART1
377 43 WRITE (*,*)
378 IF (ICHART1.EQ.1) THEN
379     WRITE (*,*)
380     WRITE (*,*) "Δώστε τώρα την τιμή της ανηγμένης παροχής:"
381     WRITE (*,*)
382     READ (*,*) QANHG1
383     WRITE (*,*)
384     IF (QANHG1.GT.0.00.AND.QANHG1.LT.0.20) THEN
385         HR = (HR020 - HR000)*(QANHG1 - 0.00)/0.20 + HR000
386     ELSEIF (QANHG1.GT.0.20.AND.QANHG1.LT.0.40) THEN
387         HR = (HR040 - HR020)*(QANHG1 - 0.20)/0.20 + HR020
388     ELSEIF (QANHG1.GT.0.40.AND.QANHG1.LT.0.60) THEN
389         HR = (HR060 - HR040)*(QANHG1 - 0.40)/0.20 + HR040
390     ELSEIF (QANHG1.GT.0.60.AND.QANHG1.LT.0.80) THEN
391         HR = (HR080 - HR060)*(QANHG1 - 0.60)/0.20 + HR060
392     ELSEIF (QANHG1.GT.0.80.AND.QANHG1.LT.1.00) THEN
393         HR = (HR100 - HR080)*(QANHG1 - 0.80)/0.20 + HR080
394     ELSEIF (QANHG1.GT.1.00.AND.QANHG1.LT.1.20) THEN
395         HR = (HR120 - HR100)*(QANHG1 - 1.00)/0.20 + HR100
396     ELSEIF (QANHG1.GT.1.20.AND.QANHG1.LT.1.40) THEN
397         HR = (HR140 - HR120)*(QANHG1 - 1.20)/0.20 + HR120
398     ELSE
399         WRITE (*,*)
400         WRITE (*,*)"Δεδομένα εκτός διαγράμματος, δοκιμάστε ξανά:"
401         WRITE (*,*)
402         GOTO 33
403     ENDIF
404 ELSE
405     CONTINUE
406 ENDIF
407 IF (ICHART1.EQ.1) THEN
408     WRITE (*,*)
409     WRITE (*,*) "Το ύψος στη θέση αυτή είναι ",HR," mΣΥ"
410     WRITE (*,*)
411 ELSE
412     CONTINUE
413 ENDIF
414 IF (ICHART1.EQ.1) THEN
415     WRITE (*,*)
416     WRITE (*,*) "Για να δοκιμάσετε ξανά, πιέστε 1"

```

```

417 WRITE (*,*) "Για να συνεχίσετε, πιάστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο: "
418 WRITE (*,*)
419 READ (*,*) IAGAIN1
420 WRITE (*,*)
421 IF (IAGAIN1.EQ.1) THEN
422     ICHART1 = 1
423     GOTO 43
424 ELSE
425     CONTINUE
426 ENDIF
427 ELSE
428     CONTINUE
429 ENDIF
430 WRITE (*,*)
431 34 WRITE (*,*) "Για να βρείτε το βαθμό απόδοσης η (%) σε ενδιάμεση"
432 WRITE (*,*) "θέση της ανηγμένης παροχής, πιάστε 1"
433 WRITE (*,*)
434 WRITE (*,*) "Για να συνεχίσετε, πιάστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο: "
435 WRITE (*,*)
436 READ (*,*) ICHART2
437 44 WRITE (*,*)
438 IF (ICHART2.EQ.1) THEN
439     WRITE (*,*)
440     WRITE (*,*) "Δώστε τώρα την τιμή της ανηγμένης παροχής:"
441     WRITE (*,*)
442     READ (*,*) QANHG2
443     WRITE (*,*)
444     IF (QANHG2.GT.0.00.AND.QANHG2.LT.0.20) THEN
445         BAR = (BAR020 - BAR000)*(QANHG2 - 0.00)/0.20 + BAR000
446     ELSEIF (QANHG2.GT.0.20.AND.QANHG2.LT.0.40) THEN
447         BAR = (BAR040 - BAR020)*(QANHG2 - 0.20)/0.20 + BAR020
448     ELSEIF (QANHG2.GT.0.40.AND.QANHG2.LT.0.60) THEN
449         BAR = (BAR060 - BAR040)*(QANHG2 - 0.40)/0.20 + BAR040
450     ELSEIF (QANHG2.GT.0.60.AND.QANHG2.LT.0.80) THEN
451         BAR = (BAR080 - BAR060)*(QANHG2 - 0.60)/0.20 + BAR060
452     ELSEIF (QANHG2.GT.0.80.AND.QANHG2.LT.1.00) THEN
453         BAR = (BAR100 - BAR080)*(QANHG2 - 0.80)/0.20 + BAR080
454     ELSEIF (QANHG2.GT.1.00.AND.QANHG2.LT.1.20) THEN
455         BAR = (BAR120 - BAR100)*(QANHG2 - 1.00)/0.20 + BAR100
456     ELSEIF (QANHG2.GT.1.20.AND.QANHG2.LT.1.40) THEN
457         IF (BAR140.LT.0.0) THEN
458             WRITE (*,*)

```

```

459             WRITE (*,*)"Δεδομένα εκτός διαγράμματος, δοκιμάστε ξανά:"
460             WRITE (*,*)
461         ELSE
462             BAR = (BAR140 - BAR120)*(QANH2 - 1.20)/0.20 + BAR120
463         ENDIF
464     ELSE
465         WRITE (*,*)
466         WRITE (*,*)"Δεδομένα εκτός διαγράμματος, δοκιμάστε ξανά:"
467         WRITE (*,*)
468         GOTO 34
469     ENDIF
470 ELSE
471     CONTINUE
472 ENDIF
473 IF (ICHART2.EQ.1) THEN
474     WRITE (*,*)
475     WRITE (*,*) "Ο βαθμός απόδοσης στη θέση αυτή είναι ",BAR
476     WRITE (*,*)
477 ELSE
478     CONTINUE
479 ENDIF
480 IF (ICHART2.EQ.1) THEN
481     WRITE (*,*)
482     WRITE (*,*) "Για να δοκιμάσετε ξανά, πιέστε 1"
483     WRITE (*,*) "Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο: "
484     WRITE (*,*)
485     READ (*,*) IAGAIN2
486     WRITE (*,*)
487     IF (IAGAIN2.EQ.1) THEN
488         ICHART2 = 1
489         GOTO 44
490     ELSE
491         CONTINUE
492     ENDIF
493 ELSE
494     CONTINUE
495 ENDIF
496 WRITE (*,*)
497 WRITE (*,*) "Για να αλλάξετε τις σύγχρονες στροφές της"
498 WRITE (*,*) "αντλητικής εγκατάστασης, πιέστε 1."
499 WRITE (*,*)
500 WRITE (*,*) "Για να δοκιμάσετε με νέες επιλογές (βαθμίδες, ομάδες"

```

```

501 WRITE (*,*) "πτερωτών και αναρρόφηση), πιέστε 2."
502 WRITE (*,*)
503 WRITE (*,*) "Για να δοκιμάσετε με νέα δεδομένα εισόδου (πίεση και"
504 WRITE (*,*) "παροχή όγκου, πιέστε 3."
505 WRITE (*,*)
506 WRITE (*,*) "Για τον τερματισμό του προγράμματος, πιέστε"
507 WRITE (*,*) "οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:"
508 WRITE (*,*)
509 READ (*,*) IPROG
510 WRITE (*,*)
511 IF (IPROG.EQ.1) THEN
512     CONTINUE
513 ELSEIF (IPROG.EQ.2) THEN
514     GOTO 19
515 ELSEIF (IPROG.EQ.3) THEN
516     GOTO 40
517 ELSE
518     GOTO 32
519 ENDIF
520 31 WRITE (*,*) "Για 500 rpm (485 rpm πραγματική τιμή) , πιέστε 1."
521 WRITE (*,*)
522 WRITE (*,*) " Για 600 rpm (580 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 2."
523 WRITE (*,*)
524 WRITE (*,*) " Για 750 rpm (725 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 3."
525 WRITE (*,*)
526 WRITE (*,*) " Για 1000 rpm (960 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 4."
527 WRITE (*,*)
528 WRITE (*,*) " Για 1500 rpm (1450 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 5."
529 WRITE (*,*)
530 WRITE (*,*) " Για 3000 rpm (2900 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 6."
531 WRITE (*,*)
532 READ (*,*) ISTROF
533 IF(ISTROF.EQ.1) THEN
534     GOTO 21
535 ELSEIF (ISTROF.EQ.2) THEN
536     GOTO 22
537 ELSEIF (ISTROF.EQ.3) THEN
538     GOTO 23
539 ELSEIF (ISTROF.EQ.4) THEN
540     GOTO 24
541 ELSEIF (ISTROF.EQ.5) THEN
542     GOTO 25

```

```
543     ELSEIF (ISTROF.EQ.6) THEN
544         GOTO 26
545     ELSE
546         WRITE (*,*) "Δεν υπάρχει αυτή η επιλογή για σύγχρονες στροφές ,"
547         WRITE (*,*) "δοκιμάστε ξανά:"
548         WRITE (*,*)
549         GOTO 31
550     ENDIF
551 32    END
```

## ■ Σχολιασμός του Κώδικα

Ο κώδικας του προγράμματος διεξάγει υπολογισμούς στη βάση του παραπάνω θεωρητικού υποβάθρου, χρησιμοποιώντας μια σειρά από απλοποιητικές παραδοχές και πειραματικά δεδομένα, για την εξαγωγή αποτελεσματικών εκτιμήσεων μιας σειράς ενεργειακών και κατασκευαστικών μεγεθών.

- Το πρόγραμμα αρχικά ζητά από το χρήστη να δώσει το προσδιδόμενο υδροστατικό ύψος  $H$  και τη διακινούμενη παροχή όγκου  $Q$ , επιλέγοντας κάθε φορά τη μονάδα μέτρησης. Οι επιλογές για το  $H$  είναι σε **ft**, σε **bar**, σε **psi** και σε **mΣΥ**. Αντίστοιχα για την  $Q$ , σε **m<sup>3</sup>/hr**, σε **gallons/min**, σε **ft<sup>3</sup>/sec** και σε **m<sup>3</sup>/sec**. Σημειώνεται εδώ ότι το πρόγραμμα κάνει υπολογισμούς στη συνέχεια σε mΣΥ και m<sup>3</sup>/sec.

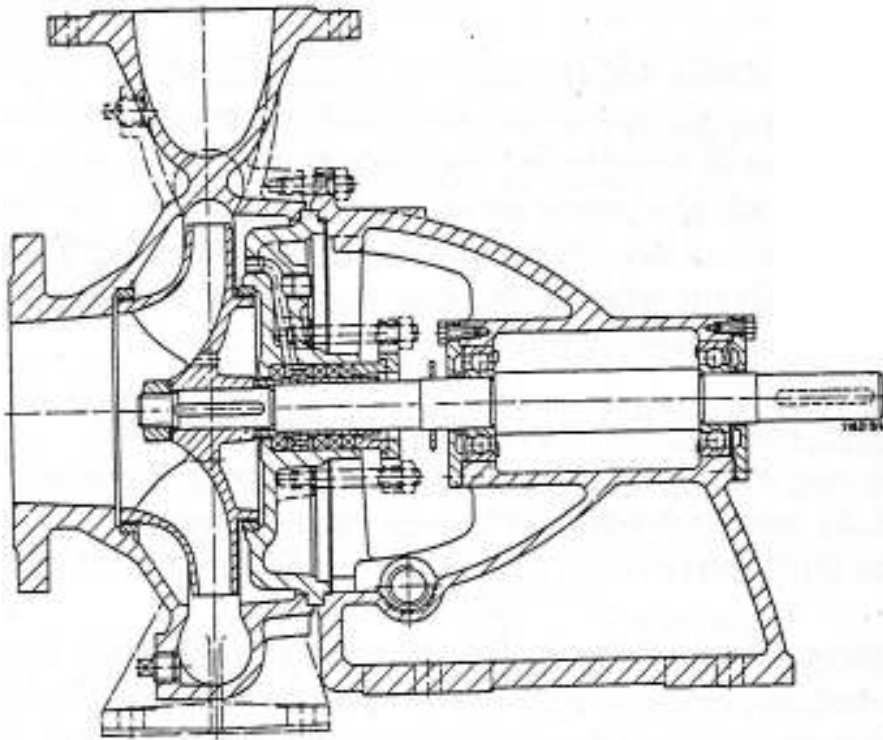
- Στη συνέχεια ο χρήστης ερωτάται για τη μορφή της αντλητικής εγκατάστασης που θα καλύπτει τις παραπάνω απαιτήσεις. Οι επιλογές είναι οι εξής 4:

→ Μονοβάθμια αντλία απλής αναρρόφησης

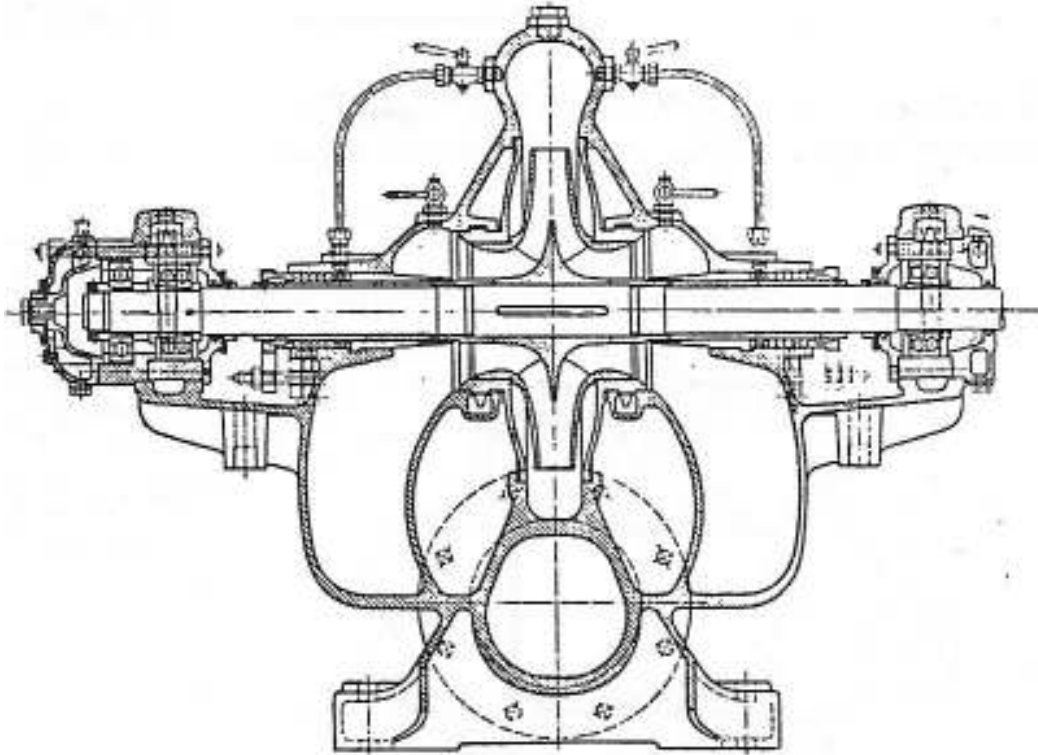
→ Αντλία διπλής αναρρόφησης

→ Πολυβάθμια αντλία μιας διαδρομής

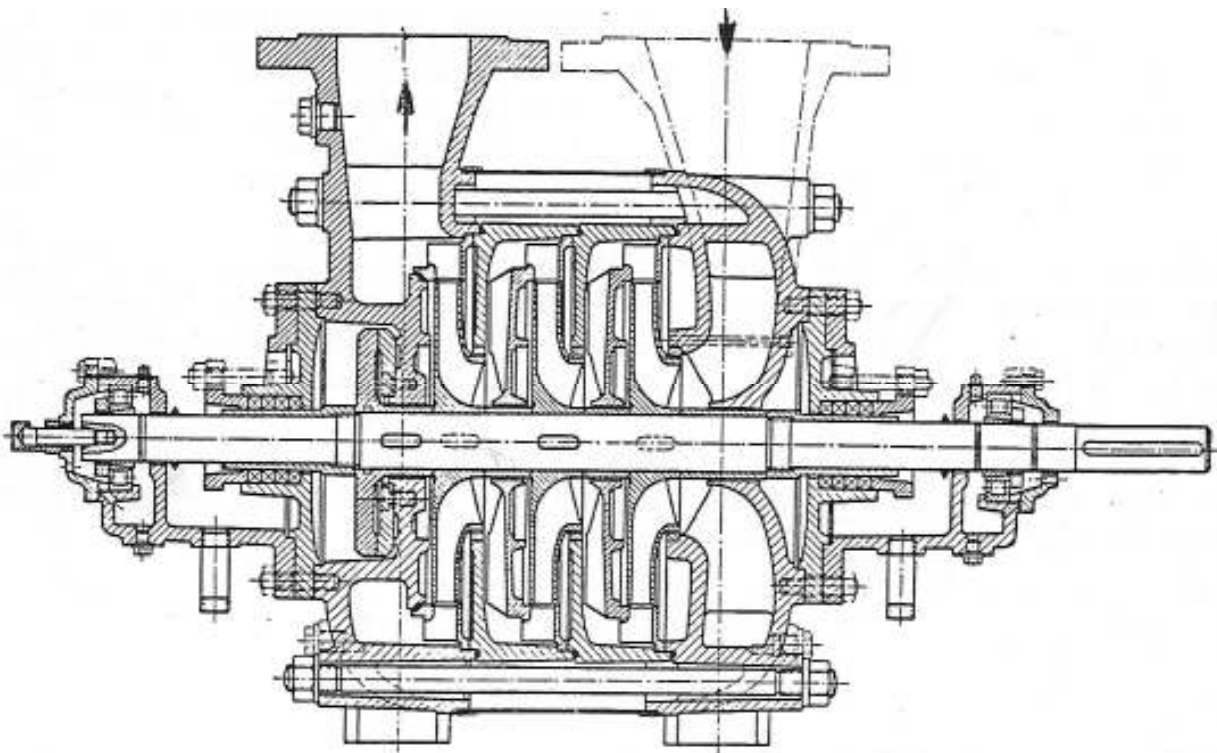
→ 2 ομάδες ίσου αριθμού βαθμίδων (πτερωτών), εκατέρωθεν αντλίας διπλής αναρρόφησης



*Μονοβάθμια αντλία απλής αναρρόφησης*

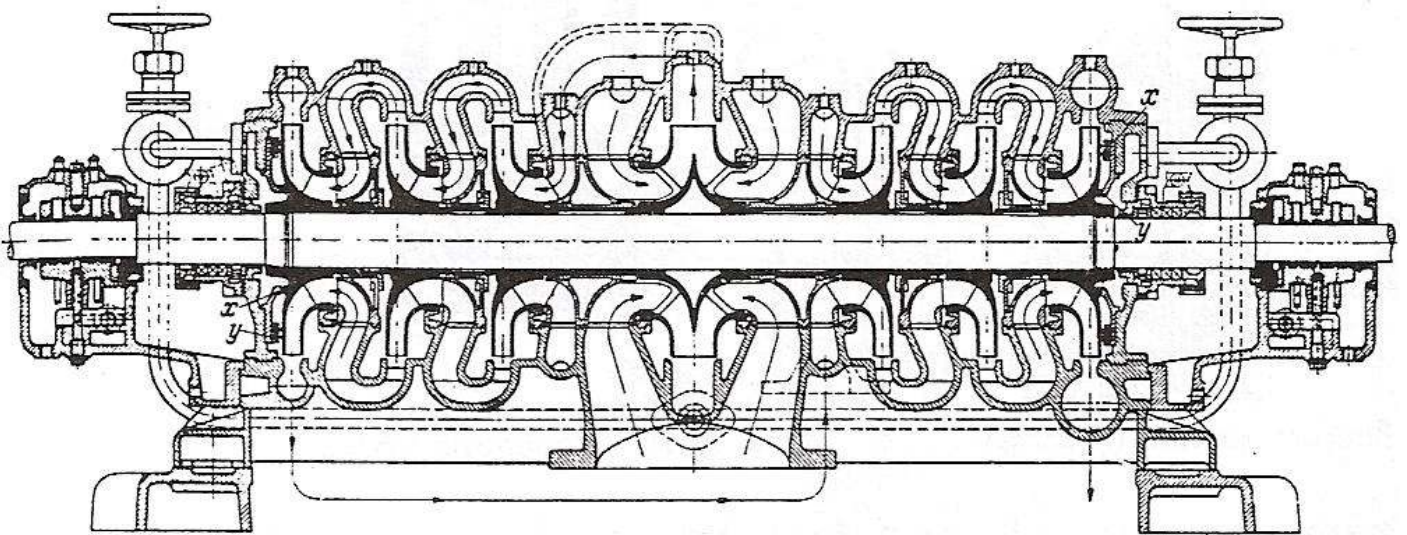


*Αντλία διπλής αναρρόφησης*



*Πολυβάθμια αντλία απλής αναρρόφησης*





Πολυβάθμια αντλία με δύο ομάδες πτερωτών

Σημειώνεται εδώ ότι σε κάθε σενάριο λειτουργίας, θεωρείται ότι όλες οι πτερωτές διακινούν ίση παροχή όγκου και προσδίδουν ίσο υδροστατικό ύψος.

▪ Ο χρήστης έχει τώρα τη δυνατότητα είτε να προεπιλέξει σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, είτε να αφήσει το πρόγραμμα να επιλέξει. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται μια πρώτη εκτίμηση του ειδικού αριθμού στροφών (SQ) και από αυτήν υπολογίζεται και μια πρώτη ταχύτητα περιστροφής (STROFES). Προφανώς, η τιμή που προκύπτει πιθανότατα δεν αντιστοιχεί σε τυποποιημένες σύγχρονες στροφές, οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τον αριθμό ζευγών πόλων του αντίστοιχου ηλεκτροκινητήρα, οπότε εισάγεται το εξής κριτήριο: Γνωρίζουμε πως οι κατά το δυνατό μεγαλύτερες στροφές μιας πτερωτής οδηγούν σε μικρότερο μέγεθος αντλίας, άρα σε μικρότερο κόστος κατασκευής. Εάν οι στροφές που βρέθηκαν είναι μεταξύ δύο τυποποιημένων τιμών και μεγαλύτερες από την τιμή που αντιστοιχεί στο 1/3 της απόστασης των τυποποιημένων τιμών αυτών, επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, η μικρότερη. Για τις σύγχρονες στροφές που βρέθηκαν, υπολογίζεται εκ νέου ο ειδικός αριθμός στροφών, ώστε η προκύπτουσα τιμή να αντιστοιχεί στο πραγματικό σενάριο λειτουργίας της αντλίας. Παρακάτω φαίνονται οι ονομαστικές σύγχρονες στροφές και ενδεικτικές πραγματικές τιμές, που οφείλονται στο φαινόμενο της ολίσθησης (slip), καθώς και οι αντίστοιχες τιμές για ζεύγη πόλων ηλεκτροκινητήρα:

Ζεύγη Πόλων Η/Κ	6	5	4	3	2	1
Σύγχρονες Στροφές (rpm)	500	600	750	1000	1500	3000
Πραγματικές Στροφές λόγω ολίσθησης (rpm)	485	580	725	960	1450	2900

Σημείωση: Η κατανομή  $H - n_q$  που παρουσιάζεται παραπάνω προφανώς στερείται απόλυτης ακρίβειας, καθώς πρόκειται για αριθμητική συσχέτιση μεταξύ εμπειρικών τύπων. Βοηθά στην εκτίμηση μόνο μιας αρχικής τιμής του ειδικού αριθμού στροφών. Ωστόσο, αυτό δεν επηρεάζει την πιστότητα του πραγματικού  $n_q$  για κάθε σενάριο, που δίνεται ως αποτέλεσμα στο χρήστη.

- Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος σπηλαιώσης σε κάθε πτερωτή της διάταξης και υπολογίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη βύθιση της αντλητικής εγκατάστασης. Αν αυτή υπερβαίνει τα 20 m, η εγκατάσταση θεωρείται αντικοινομική, οπότε προτείνεται στο χρήστη να εισάγει νέα δεδομένα ( $H$  και  $Q$ ) ή να επιλέξει άλλη διάταξη.

- Υπολογίζονται οι κύριες διαστάσεις του σπειροειδούς κελύφους, ο βαθμός απόδοσης  $\eta$  (%) και η καταναλισκόμενη ισχύς  $P$  (kW) της εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη το σενάριο λειτουργίας που επέλεξε ο χρήστης. Σημειώνεται εδώ πως οι διαστάσεις της εγκατάστασης είναι σημαντικές για τη χύτευση της κάθε πτερωτής, του σπειροειδούς κελύφους και των τμημάτων οδήγησης από βαθμίδα σε βαθμίδα που ενδεχομένως υπάρχουν, καθώς και για το συνολικό μέγεθος του αντλιοστασίου που θα στεγάσει την εγκατάσταση, παραμέτρους που παίζουν καθοριστικό ρόλο στο συνολικό κόστος.

- Δίνεται, για το εν λόγω σενάριο λειτουργίας, η γραμμική ταχύτητα περιστροφής  $U_2$  στη διάμετρο εξόδου  $D_2$  της πτερωτής, προκειμένου η τιμή αυτή να συσχετισθεί από το χρήστη με την αντοχή σε θραύση του υλικού κατασκευής της πτερωτής, ως μέτρο ανθεκτικότητας της μηχανής. Ο υπολογισμός γίνεται από τον τύπο:

$$U_2 \text{ (m / sec)} = \frac{\pi \cdot n \text{ (rpm)} \cdot D_2 \text{ (mm)}}{60000}$$

- Δίνονται οι τιμές του ολικού βαθμού απόδοσης  $\eta$  (%) και του ύψους  $H$  (mΣΥ) κάθε πτερωτής συναρτήσει της αδιάστατης παροχής όγκου ως προς το κανονικό σημείο λειτουργίας ( $Q/Q_k$ ) για τιμές από 0% έως 140%, με βήμα 20%.

Σημείωση: Σε περιπτώσεις που τα δεδομένα του χρήστη δίνουν μικρό βαθμό απόδοσης ( $\eta < 50\%$ ), το πολυώνυμο υπολογισμού του  $\eta$  για  $Q/Q_k = 140\%$  ίσως δίνει αρνητική τιμή. Τότε, ο όρος αυτός εξαιρείται από τα αποτελέσματα και τα δεδομένα της καμπύλης δίνονται στο χρήστη έως  $Q/Q_k = 120\%$ .

- Εάν ο χρήστης θέλει να βρει το  $H$  (mΣΥ) ή για το  $\eta$  (%) για ένα ενδιάμεσο σημείο ανηγμένης παροχής στην αντίστοιχη καμπύλη, έχει τη δυνατότητα να εισάγει μια τιμή της αδιάστατης παροχής, για την οποία του επιστρέφει το ζητούμενο μέγεθος. Σημειώνεται εδώ ότι ο υπολογισμός γίνεται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ σημείων που βρίσκονται εκατέρωθεν αυτού και τα οποία υπολογίστηκαν παραπάνω. Άρα, επειδή και τα δύο είδη καμπυλών στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω, αναμένεται ελάχιστα μικρότερη τιμή από αυτή που θα προέκυπτε από τα πολυώνυμα κατά Sulzer.

- Ακολουθως, αφού έχουν δοθεί στο χρήστη όλα τα μεγέθη για τις επιλογές του, υπάρχει η δυνατότητα, για τη δεδομένη διάταξη και τις ίδιες τιμές  $H$  και  $Q$ , να αλλάξουν οι σύγχρονες στροφές της εγκατάστασης, ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή επιλογή, συσχετίζοντας την ελάχιστη βύθιση  $h_e$ , το μέγεθος ( $D_1$  και  $D_2$ ) και τον ολικό βαθμό απόδοσης  $\eta$ .
- Αντίστοιχα, υπάρχει η δυνατότητα για το χρήστη να αλλάξει τη διάταξη της εγκατάστασης, συγκρίνοντας με την αρχική του επιλογή.
- Τέλος, πριν τον τερματισμό του προγράμματος, δίνεται η επιλογή αλλαγής των αρχικών τιμών  $H$  και  $Q$ . Αν γίνει αυτή η επιλογή, ακολουθούν όλα τα παραπάνω επάλληλα στάδια επιλογών και υπολογισμών. Έτσι, πρακτικά το πρόγραμμα δεν τερματίζει, αν ο χρήστης δεν έχει πάρει όλα τα δυνατά αποτελέσματα που ζητά, εκτός αν ο ίδιος το επιλέξει ενδιάμεσα.

## ■ Δοκιμή λειτουργίας

Δοκιμάζουμε τη λειτουργία του προγράμματος με περιπτώσεις πραγματικών αντλητικών εγκαταστάσεων του ελλαδικού χώρου, για τις οποίες γνωρίζουμε αναλυτικά τα αντίστοιχα μεγέθη, προκειμένου να συγκρίνουμε με αυτά που θα προκύψουν και άρα να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητα των εκτιμήσεων. Συγκεκριμένα, κάνουμε δοκιμές για τις αντλίες των αντλιοστασίων Α3 και Α4 του έργου ύδρευσης των ΑΗΣ Καρδιάς και Αγ. Δημητρίου από τον ταμιευτήρα του Πολυφύτου με νέο αγωγό και για το αντλιοστάσιο του υβριδικού ενεργειακού έργου της Ικαρίας. Τα ενεργειακά μεγέθη (υδροστατικό ύψος, παροχή όγκου και βαθμός απόδοσης) συγκρίνονται με αυτά που κατ' ελάχιστο εγγυάται ο εκάστοτε κατασκευαστής, πάντοτε στο κανονικό σημείο λειτουργίας, ενώ οι προκύπτουσες κατασκευαστικές διαστάσεις (για τα αντλιοστάσια Α3 και Α4) συγκρίνονται με αυτές των μηχανολογικών σχεδίων "as built". Το επίκεντρο των συγκρίσεων για την πιστότητα του κώδικα θα είναι ο βαθμός απόδοσης  $\eta$  (%).

### □ Αγωγός ύδρευσης ΑΗΣ Καρδιάς και Αγ. Δημητρίου από ταμιευτήρα Πολυφύτου – Αντλιοστάσιο Α3 (ΔΕΗ Α.Ε.)

Καθεμιά εκ των 4 αντλιών είναι **6 – βάρθμια, απλής αναρρόφησης** και διακινεί παροχή όγκου **2184 m<sup>3</sup>/hr**, προσδίδοντας πίεση **225 mΣΥ** με βαθμό απόδοσης **85,4 %** σε πραγματικές στροφές **1475 rpm**. Σε κάθε πτερωτή, η διάμετρος εισόδου (D1) είναι **320,19 mm** και η διάμετρος εξόδου (D2) είναι **444,36 mm**. Συγκρίνουμε τα πραγματικά μεγέθη με τα αποτελέσματα που δίνει ο κώδικας, παίρνοντας τις πλησιέστερες ονομαστικές στροφές, 1500 rpm:

6 πτερωτές εν σειρά. Οι παρακάτω διαστάσεις εκτιμώνται για το σπειροειδές κέλυφος της τελευταίας κατά σειρά πτερωτής.

$$nq = 74.5280304 \text{ rpm} \\ (\text{H σε mΣΥ, Q σε m}^3/\text{sec})$$

$$nq = 4471.68164 \text{ rpm} \\ (\text{H σε mΣΥ, Q σε m}^3/\text{hr})$$

$$nq = 3849.00024 \text{ rpm} \\ (\text{H σε ft, Q σε gallons/min})$$

Ύψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -4.65338326 \text{ m}$   
Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 1450. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 2$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 300.071899 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 456.845795 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 381.466217 \text{ mm}$

$E = 486.540802 \text{ mm}$

$F = 447.708893 \text{ mm}$

$G = 406.592743 \text{ mm}$

$Z = 137.053741 \text{ mm}$

$R3 = 82.2322464 \text{ mm}$

$R4 = 70.8110962 \text{ mm}$

$R5 = 57.1057243 \text{ mm}$

$R6 = 41.1161232 \text{ mm}$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής:  $34.684536 \text{ m/sec}$

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.854583502$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 1563.75879 \text{ kW}$

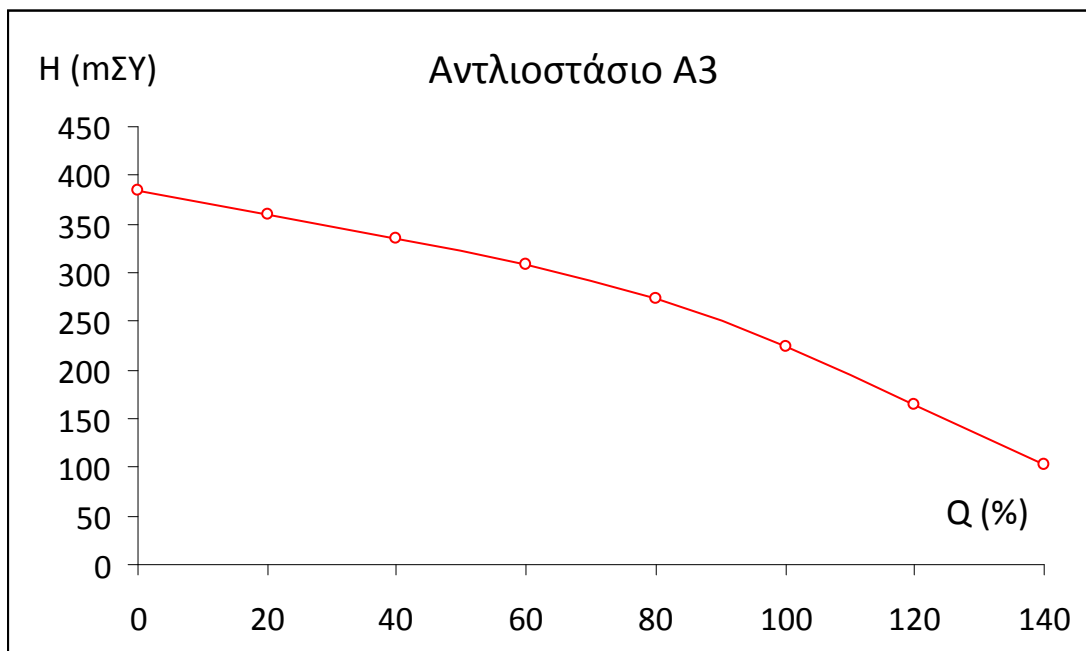
Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής  $H - Q$

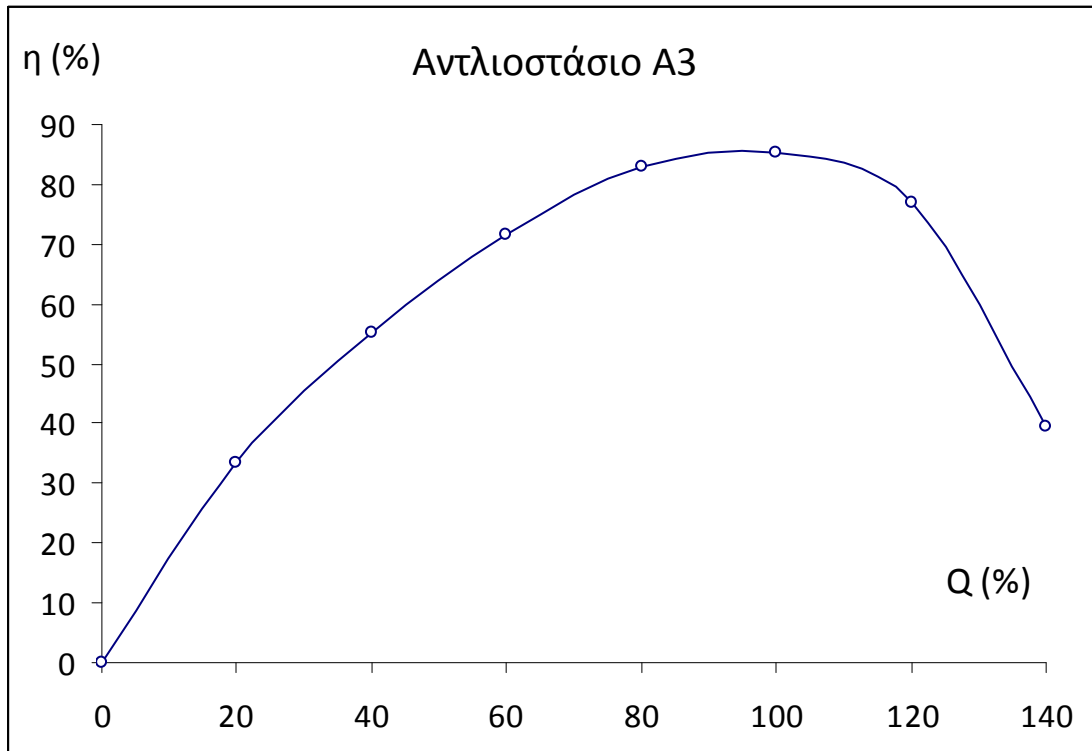
$Q$ (%)	$H$ (mΣΥ)
0	383.867615
20	358.84436
40	334.564911
60	308.436829
80	273.722565
100	225.
120	163.526779
140	102.729523

Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής  $\eta - Q$ :

Q (%)	$\eta$ (-)
0	0.
20	0.334291488
40	0.55054599
60	0.715534151
80	0.829729676
100	0.854583502
120	0.770113826
140	0.394796938

Όπως φαίνεται παραπάνω, το πρόγραμμα δίνει βαθμό απόδοσης **85,46 %** διάμετρο εισόδου (D1) της πτερωτής **300,07 mm** και διάμετρο εξόδου (D2) **456,85 mm**. Η συμφωνία των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα του έργου κρίνεται επαρκώς ικανοποιητική. Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες λειτουργίας βάσει των αποτελεσμάτων:





□ **Αγωγός ύδρευσης ΑΗΣ Καρδιάς και Αγ. Δημητρίου από ταμιευτήρα Πολυφύτου – Αντλιοστάσιο Α4 (ΔΕΗ Α.Ε.)**

Καθεμιά εκ των 4 αντλιών είναι **8 – βάρθια, απλής αναρρόφησης** και διακινεί παροχή όγκου **2135 m<sup>3</sup>/hr**, προσδίδοντας πίεση **295 mΣΥ** με βαθμό απόδοσης **85,8 %** σε πραγματικές στροφές **1475 rpm**. Σε κάθε πτερωτή, η διάμετρος εισόδου (D1) είναι **336,05 mm** και η διάμετρος εξόδου (D2) είναι **444,76 mm**. Συγκρίνουμε τα πραγματικά μεγέθη με τα αποτελέσματα που δίνει ο κώδικας, παίρνοντας και πάλι τις πλησιέστερες ονομαστικές στροφές, 1500 rpm:

8 πτερωτές εν σειρά. Οι παρακάτω διαστάσεις εκτιμώνται για το σπειροειδές κέλυφος της τελευταίας κατά σειρά πτερωτής.

$$n_q = 74.6219635 \text{ rpm}$$

( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$$n_q = 4477.31787 \text{ rpm}$$

( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$$n_q = 3853.85132 \text{ rpm}$$

( H σε ft, Q σε gallons/min)

Ύψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -4.42986107 \text{ m}$

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 1450. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 2$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 297.825867 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 453.21933 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 378.438141 \text{ mm}$

$E = 482.678619 \text{ mm}$

$F = 444.154938 \text{ mm}$

$G = 403.365204 \text{ mm}$

$Z = 135.965805 \text{ mm}$

$R3 = 81.579483 \text{ mm}$

$R4 = 70.2489929 \text{ mm}$

$R5 = 56.6524162 \text{ mm}$

$R6 = 40.7897415 \text{ mm}$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής:  $34.4092102 \text{ m/sec}$

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.8540833$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 2005.43567 \text{ kW}$

Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής H - Q

Q (%)	H (mΣΥ)
0	503.4599
20	470.58963
40	438.744324
60	404.480042

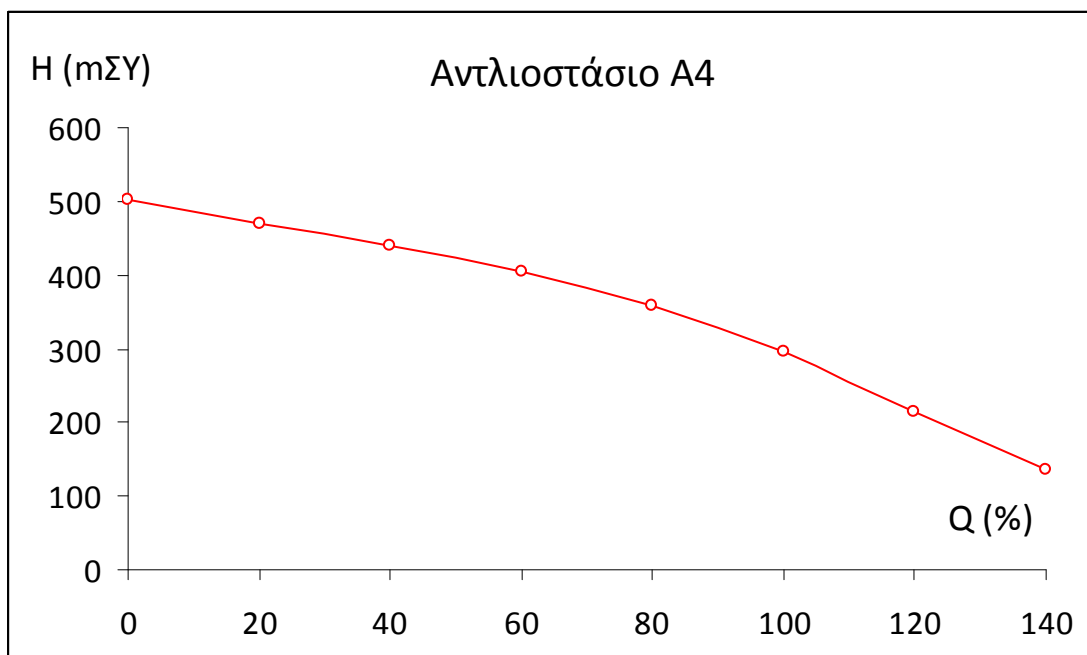


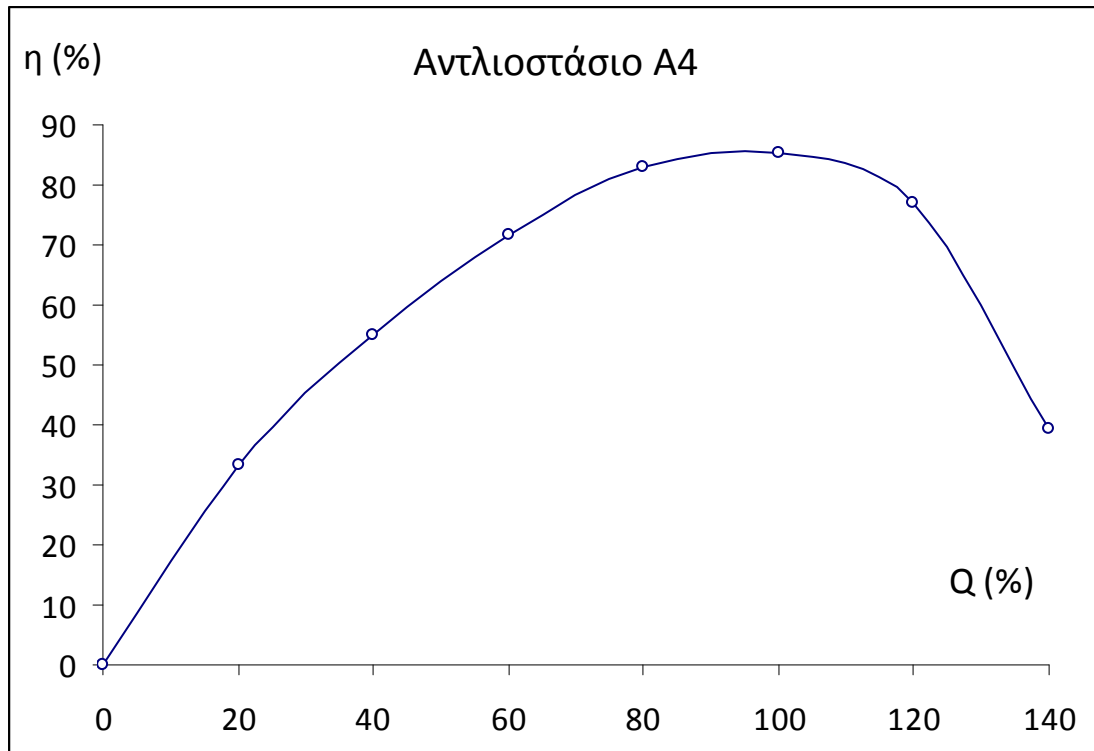
80	358.936676
100	295.
120	214.33812
140	134.600739

Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής η - Q:

Q (%)	η (%)
0	0.
20	0.334040165
40	0.550147295
60	0.715068161
80	0.829242766
100	0.8540833
120	0.769590139
140	0.39409712

Όπως φαίνεται παραπάνω, το πρόγραμμα δίνει βαθμό απόδοσης **85,41 %** διάμετρο εισόδου (D1) της πτερωτής **297,83 mm** και διάμετρο εξόδου (D2) **453,22 mm**. Η συμφωνία των αποτελεσμάτων με τα πραγματικά δεδομένα και πάλι κρίνεται επαρκής. Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες λειτουργίας βάσει των αποτελεσμάτων:





□ **Αντλιοστάσιο Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας (ΔΕΗ Α.Ε.)**

Πρόκειται για **7 – βάρθμια αντλία, απλής αναρρόφησης** η οποία διακινεί παροχή όγκου **95 m<sup>3</sup>/hr**, προσδίδοντας πίεση **509 mΣΥ** με βαθμό απόδοσης **73,37 %** σε πραγματικές στροφές **2979 rpm**. Συγκρίνουμε τα πραγματικά μεγέθη με τα αποτελέσματα που δίνει ο κώδικας, παίρνοντας και πάλι τις πλησιέστερες ονομαστικές στροφές, 3000 rpm:

7 πτερωτές εν σειρά. Οι παρακάτω διαστάσεις εκτιμώνται για το σπειροειδές κέλυφος της τελευταίας κατά σειρά πτερωτής.

$$n_q = 18.9188061 \text{ rpm}$$

( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$$n_q = 1135.12842 \text{ rpm}$$

( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$$n_q = 977.061768 \text{ rpm}$$

( H σε ft, Q σε gallons/min)

$$\text{Ύψος τοποθέτησης αντλίας: } h_e < 4.29433775 \text{ m}$$

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 2900. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 1$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 79.2544098 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 233.810242 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 195.231552 \text{ mm}$

$E = 249.007919 \text{ mm}$

$F = 229.134048 \text{ mm}$

$G = 208.09111 \text{ mm}$

$Z = 70.143074 \text{ mm}$

$R3 = 42.0858459 \text{ mm}$

$R4 = 36.2405891 \text{ mm}$

$R5 = 29.2262802 \text{ mm}$

$R6 = 21.042923 \text{ mm}$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής:  $35.5025711 \text{ m/sec}$

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.718846858$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 182.933853 \text{ kW}$

Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής H - Q

Q (%)	H (mΣΥ)
0	613.97699
20	608.455261
40	597.950134
60	582.767883
80	556.156738
100	509.
120	434.868958

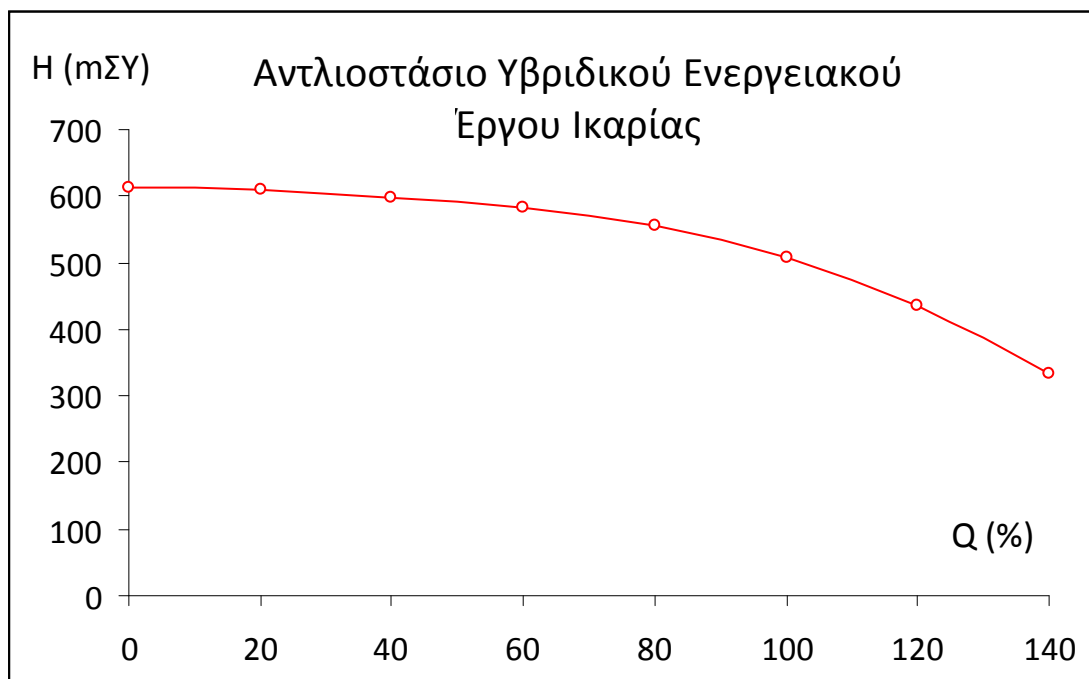
140

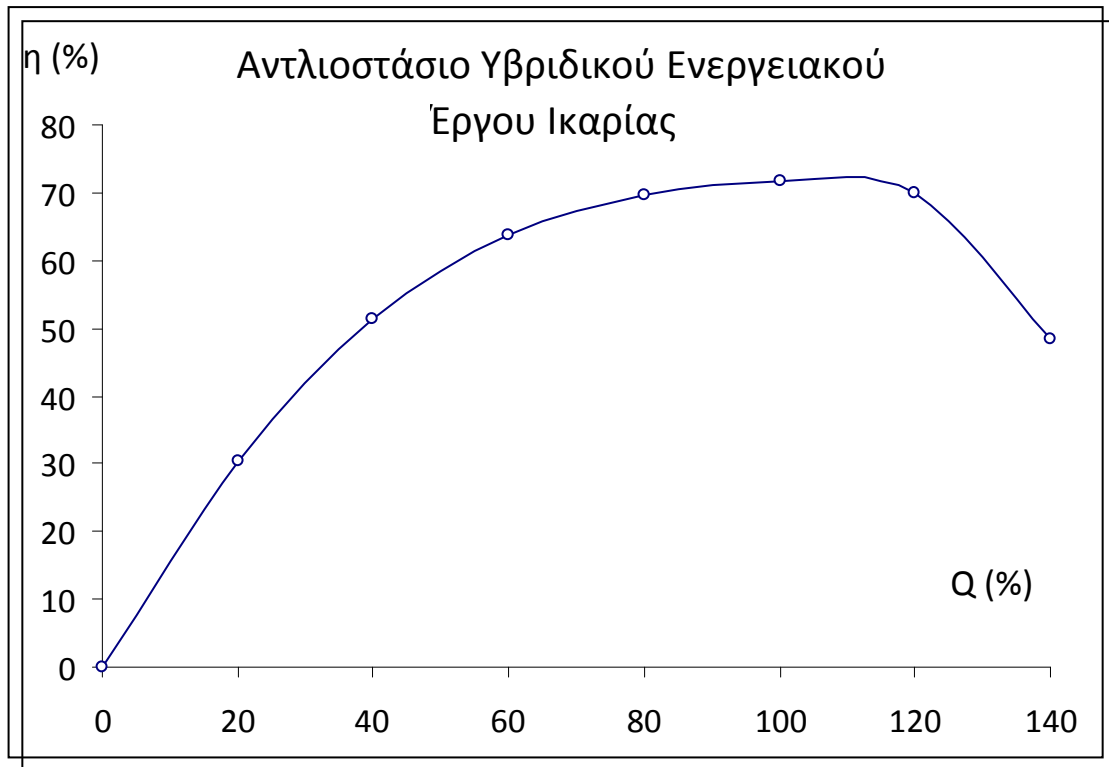
334.158844

Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής  $\eta$  -  $Q$ :

$Q$ (%)	$\eta$ (%)
0	0.
20	0.303469926
40	0.514993429
60	0.636252522
80	0.696130097
100	0.718846858
120	0.698565841
140	0.483274549

Όπως φαίνεται παραπάνω, το πρόγραμμα δίνει βαθμό απόδοσης **71,88 %** για τη συγκεκριμένη αντλητική εγκατάσταση. Τα αποτελέσματα που πήραμε βρίσκονται κοντά στις πραγματικές τιμές του έργου. Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες λειτουργίας βάσει των αποτελεσμάτων:





## ■ Εκτίμηση – πρόβλεψη για λειτουργία σε διάφορες σύγχρονες στροφές

Επιχειρούμε εδώ μια εκτίμηση για τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζονται τα διάφορα μεγέθη μιας εγκατάστασης που προορίζεται να καλύψει συγκεκριμένες απαιτήσεις πίεσης και παροχής όγκου, με την ίδια διάταξη και για διάφορες σύγχρονες ταχύτητες περιστροφής. Δοκιμάζουμε την αντλητική εγκατάσταση **Mottec – 1** (σελ.3, πίνακας 1) με τα εξής χαρακτηριστικά πραγματικής λειτουργίας: μονοβάθμια αντλία απλής αναρρόφησης, υδροστατικό ύψος 119,5 mΣΥ, παροχή όγκου 4,9 m<sup>3</sup>/sec, σύγχρονες στροφές 750 rpm, καταναλισκόμενη ισχύς 6,74 MWatt, διάμετρος εξόδου πτερωτής 1360 mm, ειδικός αριθμός στροφών 45,22537 rpm, βαθμός απόδοσης 0,8514. Θα ζητήσουμε επίσης ολικό βαθμό απόδοσης και υδροστατικό ύψος για λειτουργία στο 65% της παροχής όγκου στο κανονικό σημείο λειτουργίας. Δίνονται παρακάτω τα αποτελέσματα του προγράμματος:

Δώστε υδροστατικό ύψος:

Για ft, πιέστε 1

Για bar, πιέστε 2

Για psi, πιέστε 3

Για mΣΥ, πιέστε οποιονδήποτε άλλο ακέραιο

4

Δώστε τώρα την τιμή:

119.5

Δώστε παροχή μάζας:

Για m<sup>3</sup>/hr, πιέστε 1

Για gallons/min, πιέστε 2

Για ft<sup>3</sup>/sec, πιέστε 3

Για m<sup>3</sup>/sec, πιέστε οποιονδήποτε άλλο ακέραιο

4

Δώστε τώρα την τιμή:

#### 4.9

Για αντλία απλής αναρρόφησης, πιέστε 1

Για αντλία διπλής αναρρόφησης, πιέστε 2

Για πολυβάθμια αντλητική εγκατάσταση, με ΜΙΑ ομάδα πτερωτών, πιέστε 3

Για πολυβάθμια αντλητική εγκατάσταση, με ΔΥΟ ομάδες πτερωτών, εκατέρωθεν πτερωτής διπλής αναρρόφησης (το ήμισυ της παροχής όγκου σε κάθε ομάδα}, πιέστε 4

1

Για να προεπιλέξετε ταχύτητα περιστροφής (rpm) πιέστε 1. Για να επιλέξει το πρόγραμμα αυτόματα, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Για 500 rpm (485 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 1.

Για 600 rpm (580 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 2.

Για 750 rpm (725 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 3.

Για 1000 rpm (960 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 4.

Για 1500 rpm (1450 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 5.

Για 3000 rpm (2900 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 6.

1

$nq = 29.703928 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$nq = 1782.23572 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$nq = 1534.05933 \text{ rpm}$   
( H σε ft, Q σε gallons/min)

Ύψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -5.41586161 \text{ m}$

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 485. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 6$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 835.736389 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 1920.54932 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 1603.65869 \text{ mm}$

$E = 2045.38513 \text{ mm}$

$F = 1882.13843 \text{ mm}$

$G = 1709.28882 \text{ mm}$

$Z = 576.164795 \text{ mm}$

$R3 = 345.698883 \text{ mm}$

$R4 = 297.68515 \text{ mm}$

$R5 = 240.068665 \text{ mm}$

$R6 = 172.849442 \text{ mm}$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής:  $48.7714272 \text{ m/sec}$

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.882675111$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 6494.63379 \text{ kW}$

Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής H - Q

Q (%)	H (mΣΥ)
0	158.810028
20	155.635254
40	149.976471
60	143.081558
80	133.658768
100	119.5
120	99.1421432
140	73.4237213



Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής η - Q:

Q (%)	η (%)
0	0.
20	0.368372738
40	0.617363214
60	0.770989895
80	0.855677426
100	0.882675111
120	0.842911482
140	0.662375271

Για να βρείτε το ύψος H (m) σε ενδιάμεση θέση της ανηγμένης παροχής, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να βρείτε το βαθμό απόδοσης η (%) σε ενδιάμεση θέση της ανηγμένης παροχής, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να αλλάξετε τις σύγχρονες στροφές της αντλητικής εγκατάστασης, πιέστε 1.

Για να δοκιμάσετε με νέες επιλογές (βαθμίδες, ομάδες πτερωτών και αναρρόφηση), πιέστε 2.

Για να δοκιμάσετε με νέα δεδομένα εισόδου (πίεση και παροχή όγκου), πιέστε 3.

Για τον τερματισμό του προγράμματος, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Για 500 rpm (485 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 1.

Για 600 rpm (580 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 2.

Για 750 rpm (725 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 3.

Για 1000 rpm (960 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 4.

Για 1500 rpm (1450 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 5.

Για 3000 rpm (2900 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 6.

2

$nq = 35.5222244 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$nq = 2131.3335 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$nq = 1834.54529 \text{ rpm}$   
( H σε ft, Q σε gallons/min)

Υψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -8.95428467 \text{ m}$

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 580. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 5$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 793.062195 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 1663.35449 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 1388.901 \text{ mm}$

$E = 1771.47266 \text{ mm}$

$F = 1630.0874 \text{ mm}$

$G = 1480.3855 \text{ mm}$

$Z = 499.006378 \text{ mm}$

$R3 = 299.403809 \text{ mm}$

$R4 = 257.819946 \text{ mm}$

R5 = 207.919312 mm

R6 = 149.701904 mm

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής: 50.5139198 m/sec

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.890422523$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 6438.12549$  kW

Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής H - Q

Q (%)	H (mΣΥ)
0	166.105545
20	161.827957
40	154.680695
60	146.254898
80	135.281281
100	119.5
120	97.5480576
140	70.7900314

Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής  $\eta - Q$ :

Q (%)	$\eta$ (%)
0	0.
20	0.369077325
40	0.615151584
60	0.772589266
80	0.863581836
100	0.890422523
120	0.842780888
140	0.661073983

Για να βρείτε το ύψος H (m) σε ενδιαμέση θέση της ανηγμένης παροχής, πιάστε 1

Για να συνεχίσετε, πιάστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

Για να βρείτε το βαθμό απόδοσης  $\eta$  (%) σε ενδιάμεση θέση της ανηγμένης παροχής, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να αλλάξετε τις σύγχρονες στροφές της αντλητικής εγκατάστασης, πιέστε 1.

Για να δοκιμάσετε με νέες επιλογές (βαθμίδες, ομάδες πτερωτών και αναρρόφηση), πιέστε 2.

Για να δοκιμάσετε με νέα δεδομένα εισόδου (πίεση και παροχή όγκου), πιέστε 3.

Για τον τερματισμό του προγράμματος, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Για 500 rpm (485 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 1.

Για 600 rpm (580 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 2.

Για 750 rpm (725 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 3.

Για 1000 rpm (960 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 4.

Για 1500 rpm (1450 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 5.

Για 3000 rpm (2900 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 6.

3

$nq = 44.4027786 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$nq = 2664.16675 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$nq = 2293.18164 \text{ rpm}$   
( H σε ft, Q σε gallons/min)

Υψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -14.7287197 \text{ m}$

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 725. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 4$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 742.869629 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 1400.19556 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 1169.16321 \text{ mm}$

$E = 1491.20837 \text{ mm}$

$F = 1372.19165 \text{ mm}$

$G = 1246.17407 \text{ mm}$

$Z = 420.058685 \text{ mm}$

$R3 = 252.035217 \text{ mm}$

$R4 = 217.030319 \text{ mm}$

$R5 = 175.024445 \text{ mm}$

$R6 = 126.017609 \text{ mm}$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής:  $53.1526566 \text{ m/sec}$

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.895236015$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 6403.50879 \text{ kW}$

Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής  $H - Q$

$Q$ (%)	$H$ (mΣΥ)
0	176.409225
20	170.327499
40	161.224228
60	150.821106
80	137.699387
100	119.5

120	95.1142044
140	66.8767242

Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής  $\eta$  -  $Q$ :

$Q$ (%)	$\eta$ (%)
0	0.
20	0.366905749
40	0.607491136
60	0.769405723
80	0.868727505
100	0.895236015
120	0.836541533
140	0.619306147

Για να βρείτε το ύψος  $H$  (m) σε ενδιάμεση θέση της ανηγμένης παροχής, πιάστε 1

Για να συνεχίσετε, πιάστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Δώστε τώρα την τιμή της ανηγμένης παροχής:

0.65

Το ύψος στη θέση αυτή είναι 147.54068 mΣΥ

Για να δοκιμάσετε ξανά, πιάστε 1

Για να συνεχίσετε, πιάστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να βρείτε το βαθμό απόδοσης  $\eta$  (%) σε ενδιάμεση θέση της ανηγμένης παροχής, πιάστε 1

Για να συνεχίσετε, πιάστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Δώστε τώρα την τιμή της ανηγμένης παροχής:

0.65

Ο βαθμός απόδοσης στη θέση αυτή είναι 0.794236124

Για να δοκιμάσετε ξανά, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να αλλάξετε τις σύγχρονες στροφές της αντλητικής εγκατάστασης, πιέστε 1.

Για να δοκιμάσετε με νέες επιλογές (βαθμίδες, ομάδες πτερωτών και αναρρόφηση), πιέστε 2.

Για να δοκιμάσετε με νέα δεδομένα εισόδου (πίεση και παροχή όγκου), πιέστε 3.

Για τον τερματισμό του προγράμματος, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Για 500 rpm (485 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 1.

Για 600 rpm (580 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 2.

Για 750 rpm (725 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 3.

Για 1000 rpm (960 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 4.

Για 1500 rpm (1450 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 5.

Για 3000 rpm (2900 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 6.

4

$nq = 58.7954025 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$nq = 3527.72412 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$n_q = 3036.48853 \text{ rpm}$   
( H σε ft, Q σε gallons/min)

Ύψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -24.9081001 \text{ m}$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η αντλητική εγκατάσταση τοποθετείται βαθύτερα από 20 m υπογείως, αντιοικονομική εγκατάσταση. Προτείνεται να δοκιμάσετε με νέες επιλογές.

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 960. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 3$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 684.204895 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 1141.4541 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 953.114136 \text{ mm}$

$E = 1215.64868 \text{ mm}$

$F = 1118.625 \text{ mm}$

$G = 1015.8941 \text{ mm}$

$Z = 342.436249 \text{ mm}$

$R3 = 205.461746 \text{ mm}$

$R4 = 176.925385 \text{ mm}$

$R5 = 142.681763 \text{ mm}$

$R6 = 102.730873 \text{ mm}$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής:  $57.3756943 \text{ m/sec}$

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.892897964$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 6420.27637 \text{ kW}$



### Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής H - Q

Q (%)	H (mΣΥ)
0	190.974411
20	181.658524
40	170.195724
60	157.509796
80	141.468689
100	119.5
120	91.1676712
140	60.8078575

### Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής η - Q:

Q (%)	η (%)
0	0.
20	0.358479381
40	0.58999759
60	0.756958663
80	0.86690414
100	0.892897964
120	0.818847716
140	0.512106836

Για να βρείτε το ύψος H (m) σε ενδιαμέση θέση της ανηγμένης παροχής, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να βρείτε το βαθμό απόδοσης η (%) σε ενδιαμέση θέση της ανηγμένης παροχής, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να αλλάξετε τις σύγχρονες στροφές της αντλητικής εγκατάστασης, πιέστε 1.

Για να δοκιμάσετε με νέες επιλογές (βαθμίδες, ομάδες πτερωτών και αναρρόφηση), πιέστε 2.

Για να δοκιμάσετε με νέα δεδομένα εισόδου (πίεση και παροχή όγκου), πιέστε 3.

Για τον τερματισμό του προγράμματος, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Για 500 rpm (485 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 1.

Για 600 rpm (580 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 2.

Για 750 rpm (725 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 3.

Για 1000 rpm (960 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 4.

Για 1500 rpm (1450 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 5.

Για 3000 rpm (2900 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 6.

5

$nq = 88.8055573 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$nq = 5328.3335 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$nq = 4586.36328 \text{ rpm}$   
( H σε ft, Q σε gallons/min)

Υψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -48.7742157 \text{ m}$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η αντλητική εγκατάσταση τοποθετείται βαθύτερα από 20 m υπογείως, αντιοικονομική εγκατάσταση. Προτείνεται να δοκιμάσετε με νέες επιλογές.

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 1450. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 2$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 606.332397 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 868.897888 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 725.529724 \text{ mm}$

$E = 925.376282 \text{ mm}$

$F = 851.519958 \text{ mm}$

$G = 773.319092 \text{ mm}$

$Z = 260.669373 \text{ mm}$

$R3 = 156.401627 \text{ mm}$

$R4 = 134.679169 \text{ mm}$

$R5 = 108.612236 \text{ mm}$

$R6 = 78.2008133 \text{ mm}$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής:  $65.9682617 \text{ m/sec}$

Βαθμός Απόδοσης:  $\eta = 0.870305538$

Καταναλισκόμενη Ισχύς:  $P = 6586.94141 \text{ kW}$

Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής  $H - Q$

$Q$ (%)	$H$ (mΣΥ)
0	212.855408
20	195.561829
40	182.403748
60	168.625168
80	148.732529
100	119.5
120	82.9307938
140	49.2412224

Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής  $\eta - Q$ :

Q (%)	η (%)
0	0.
20	0.331389904
40	0.549919486
60	0.722252369
80	0.844610691
100	0.870305538
120	0.774135649
140	0.33661887

Για να βρείτε το ύψος H (m) σε ενδιάμεση θέση της ανηγμένης παροχής, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να βρείτε το βαθμό απόδοσης η (%) σε ενδιάμεση θέση της ανηγμένης παροχής, πιέστε 1

Για να συνεχίσετε, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

2

Για να αλλάξετε τις σύγχρονες στροφές της αντλητικής εγκατάστασης, πιέστε 1.

Για να δοκιμάσετε με νέες επιλογές (βαθμίδες, ομάδες πτερωτών και αναρρόφηση), πιέστε 2.

Για να δοκιμάσετε με νέα δεδομένα εισόδου (πίεση και παροχή όγκου), πιέστε 3.

Για τον τερματισμό του προγράμματος, πιέστε οποιοδήποτε άλλο πλήκτρο:

1

Για 500 rpm (485 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 1.

Για 600 rpm (580 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 2.

Για 750 rpm (725 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 3.

Για 1000 rpm (960 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 4.

Για 1500 rpm (1450 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 5.

Για 3000 rpm (2900 rpm πραγματική τιμή), πιέστε 6.

6

$nq = 177.611115 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/sec)

$nq = 10656.667 \text{ rpm}$   
( H σε mΣΥ, Q σε m<sup>3</sup>/hr)

$nq = 9172.72656 \text{ rpm}$   
( H σε ft, Q σε gallons/min)

Υψος τοποθέτησης αντλίας:  $h_e < -134.365509 \text{ m}$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η αντλητική εγκατάσταση τοποθετείται βαθύτερα από 20 m υπογείως, αντιοικονομική εγκατάσταση. Προτείνεται να δοκιμάσετε με νέες επιλογές.

Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής:  $n = 2900. \text{ rpm}$

Ζεύγη Πόλων Ηλεκτροκινητήρα:  $p = 1$

Διάμετρος Εισόδου Πτερωτής:  $D1 = 494.890411 \text{ mm}$

Διάμετρος Εξόδου Πτερωτής:  $D2 = 590.799866 \text{ mm}$

Διαστάσεις Σπειροειδούς κελύφους (βλέπε σχήμα):

$A = J = 493.317871 \text{ mm}$

$E = 629.201904 \text{ mm}$

$F = 578.983887 \text{ mm}$

$G = 525.81189 \text{ mm}$

$Z = 177.23996 \text{ mm}$

$R3 = 106.343979 \text{ mm}$

$$R4 = 91.5739822 \text{ mm}$$

$$R5 = 73.8499832 \text{ mm}$$

$$R6 = 53.1719894 \text{ mm}$$

Γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής: 89.7091293 m/sec

$$\text{Βαθμός Απόδοσης: } \eta = 0.770863295$$

$$\text{Καταναλισκόμενη Ισχύς: } P = 7436.66455 \text{ kW}$$

Χαρακτηριστική Καμπύλη Πτερωτής H - Q

Q (%)	H (mΣΥ)
0	210.386551
20	159.71347
40	167.072052
60	179.098755
80	165.51181
100	119.5
120	58.4932861
140	23.6254044

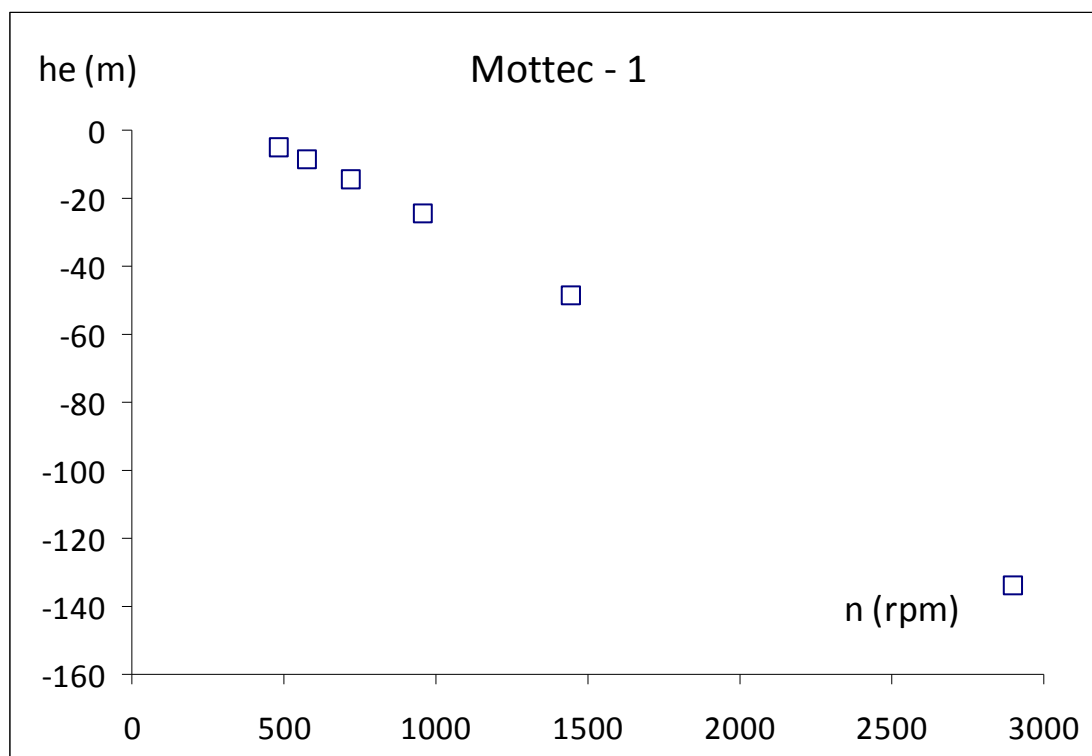
Καμπύλη Βαθμού Απόδοσης Πτερωτής  $\eta$  - Q:

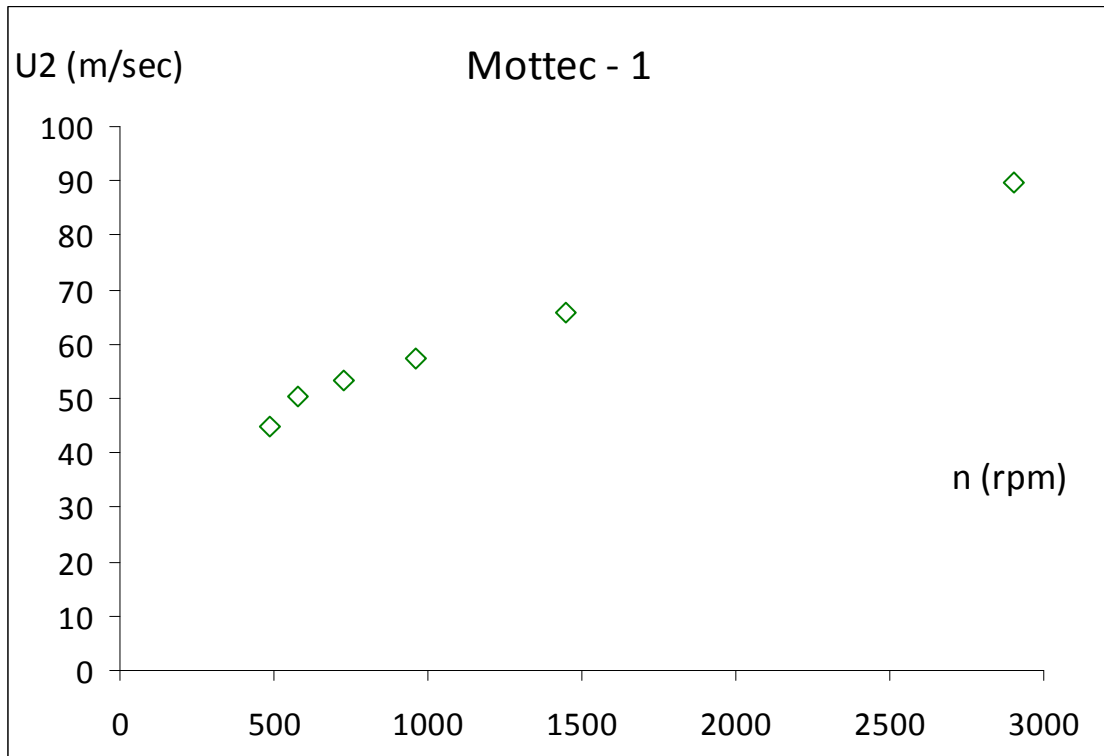
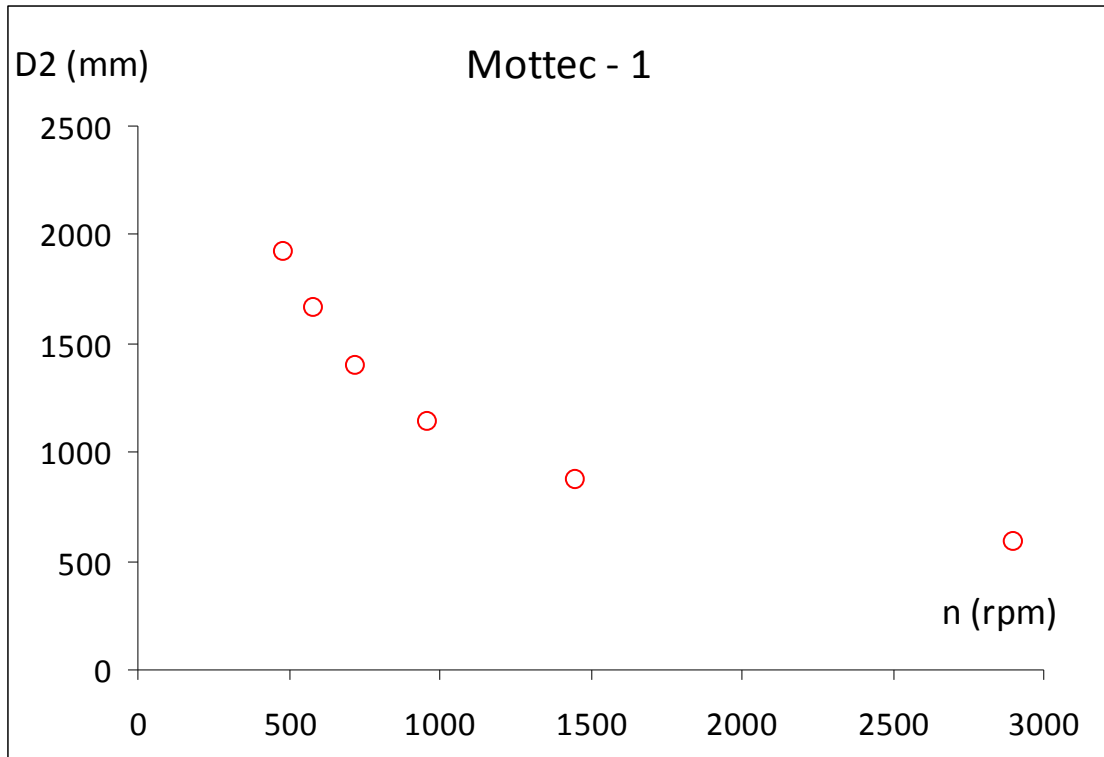
Q (%)	$\eta$ (%)
0	0.
20	0.226367846
40	0.471513689
60	0.63865304
80	0.738298357
100	0.770863295
120	0.675582051

Για πραγματικές στροφές 725 rpm, στο 65 % της κανονικής παροχής όγκου, το πρόγραμμα δίνει ως αποτέλεσμα βαθμό απόδοσης 79,42 % και υδροστατικό ύψος 147,44 mΣΥ δηλαδή τιμές αναμενόμενες από τη μορφή των καμπυλών λειτουργίας, ως προς το κανονικό σημείο λειτουργίας. Συγκεντρωτικά, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

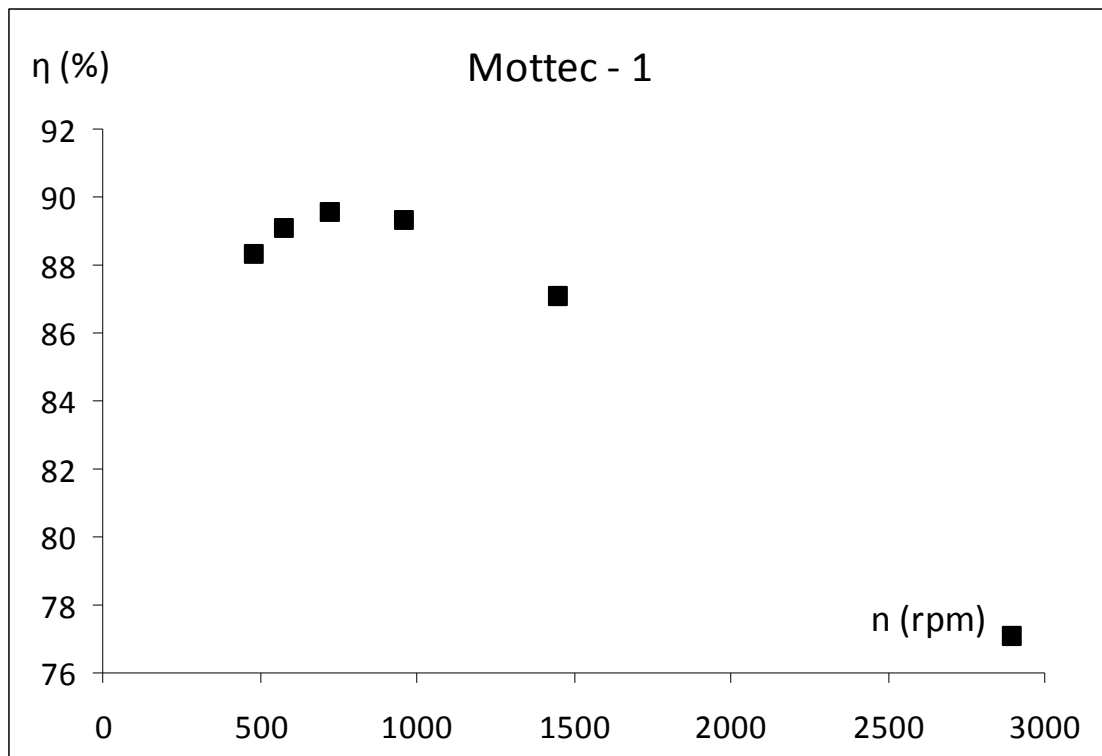
<b>n (rpm)</b>	<b>n<sub>q</sub> (rpm)</b>	<b>h<sub>e</sub> (m)</b>	<b>D<sub>2</sub> (mm)</b>	<b>U<sub>2</sub> (m/sec)</b>	<b>η (%)</b>	<b>P (MWatt)</b>
485	29,7	-5,42	1920,55	44,77	88,27	6,49
580	35,52	-8,95	1663,35	50,51	89,04	6,44
725	44,4	-14,73	1400,2	53,15	89,52	6,4
960	58,8	-24,91	1141,45	57,38	89,29	6,42
1450	88,51	-48,77	868,9	65,97	87,03	6,59
2900	177,61	-134,37	590,8	89,71	77,08	7,44

Από τον παραπάνω πίνακα είναι προφανές ότι όσο αυξάνουν οι σύγχρονες στροφές  $n$  μειώνεται το μέγεθος της μηχανής, όπως αυτό εκφράζεται από το  $D_2$ . Επίσης αυξάνεται και η απαιτούμενη βύθιση  $h_e$  (αρνητικό ύψος τοποθέτησης), αφού αυξάνεται ο ειδικός αριθμός στροφών  $n_q$ , άρα και ο παράγων σπηλαίωσης  $\sigma_k$ . Φαίνεται επίσης ότι, για τη δεδομένη διάταξη, ο βαθμός απόδοσης  $\eta$ , και η καταναλισκόμενη ισχύς  $P$  αντιστοίχως, αυξάνει μέχρι μια μέγιστη τιμή και μετά φθίνει. Η γραμμική ταχύτητα περιστροφής στην έξοδο της πτερωτής  $U_2$  αυξάνει συνεχώς, κάτι που δείχνει ότι η μείωση του  $D_2$  είναι λιγότερο έντονη από την αύξηση του  $n$ . Παρακάτω φαίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα:









Συμπερασματικά, οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν κατά κύριο λόγο το κόστος της αντλητικής εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, το  $h_e$  αντιπροσωπεύει το κόστος του έργου εκσκαφής για την κατασκευή του αντλιοστασίου, η  $D_2$  το μέγεθος της μηχανής, άρα και την ποσότητα μετάλλου που απαιτείται για τα μηχανικά της μέρη, η  $U_2$  τη μηχανική αντοχή που απαιτείται για την αντλία και το  $\eta$  την ποιότητα σχεδιασμού έναντι του κόστους λειτουργίας, λόγω κατανάλωσης ρεύματος από τον ηλεκτροκινητήρα. Στο βαθμό λοιπόν που πληρούν τα τεχνικά όρια του έργου, βάσει αυτών θα γίνεται η βελτιστοποίηση της εκάστοτε εγκατάστασης.

## ■ Βιβλιογραφία

- Δ. Ε. Παπαντώνη, “Υδροδυναμικές Μηχανές”, εκδ. Συμεών
- Δ. Ε. Παπαντώνη, “Μελέτη και Χάραξη Φυγόκεντρων και Αξονικών Αντλιών”, πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Sulzer, “Centrifugal Pump Handbook”, Elsevier
- H. C. Radha Krishna, “Hydraulic design of Hydraulic Pumps”, Avebury
- Institut de Machines Hydrauliques (Th. Bovet), “Feuilles de Cours Illustrées”, École Polytechnique Fédérale de Laussane
- United States Department of the Interior (Bureau of Reclamation), “Selecting Large Pumping Units”
- United States Department of the Interior (Bureau of Reclamation), “Turbines and Pumps”
- Εγγυημένα Χαρακτηριστικά και Στοιχεία Εξοπλισμού του έργου “Υδρευση ΑΗΣ Καρδιάς και Αγ. Δημητρίου από ταμιευτήρα Πολυφύτου – νέος αγωγός”, ΔΕΗ Α.Ε.
- Εγγυημένα Χαρακτηριστικά και Στοιχεία Εξοπλισμού του έργου “Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας”, ΔΕΗ Α.Ε.

Για τις 2 τελευταίες βιβλιογραφικές αναφορές, καθώς και για τον ιδιαίτερο χρόνο που αφιέρωσε για την ουσιαστική βελτίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται στον κ Φ. Καράγγελη, τομεάρχη του Τομέα Κατασκευών Ηλεκτρομηχανολογικών Έργων στη Διεύθυνση Υδροηλεκτρικής Παραγωγής της Δ.Ε.Η.