

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»

ΜΑΘΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Επικ. Καθ. Δ. ΜΑΘΙΟΥΛΑΚΗΣ
ΘΕΜΑΤΑ ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ

ΘΕΜΑ 1: ΜΕΛΕΤΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΘΕΜΑ 2: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΟΜΑΔΑ ΣΥΝΤΑΞΗΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΚΟΥΣΤΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ
ΚΟΖΑΝΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2001

ΘΕΜΑ 1ο**ΜΕΛΕΤΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ****ΟΜΑΔΑ: I=6**

Τα δεδομένα του θέματος που σχετίζονται με την τιμή της παραμέτρου I=6 λαμβάνουν τις παρακάτω τιμές:

Μήκος σήραγγας:	$800 + 50 \times I = 800 + 300 = 1100 \text{ m}$
Υψόμετρο:	$300 + 100 \times I = 300 + 600 = 900 \text{ m}$
Κλίση:	$\pm I/2 = \pm 3 \%$

Ο αερισμός μιας σήραγγας κατά την διάρκεια λειτουργίας της απαιτείται για δύο κυρίως λόγους:

- Την μείωση της συγκέντρωσης του παραγομένου CO και του καπνού από τα οχήματα (από τα επιβατικά και τα φορτηγά αντίστοιχα)
- Την απομάκρυνση του καπνού σε περίπτωση πυρκαγιάς.

1. Εύρεση απαιτούμενης ποσότητας αέρα για κανονική ροή των οχημάτων

Θα υπολογιστεί η ποσότητα αέρα που απαιτείται για την αραίωση του CO, στην παραγωγή του οποίου συνεισφέρουν μόνο τα επιβατικά οχήματα (κινητήρες Otto), καθώς και η απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση της αιθάλης που παράγεται από τα φορτηγά – λεωφορεία (κινητήρες Diesel), δηλαδή από τα βαρέως τύπου οχήματα.

1.1. Απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση CO (οχήματα με κινητήρες Otto – επιβατικά οχήματα)

Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα (m^3/s) δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{CO} = (d^o_{CO} \times f_v \times f_i \times f_H) / 3600 \times D \times 10^6 / CO_{lim} \times L$$

όπου:

$$d^o_{CO} = 0.6 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ όχημα (παραγωγή CO ανά όχημα)}$$

$$f_v = \text{συντελεστής ταχύτητας: } f_v = 1.20 \text{ για ταχύτητα } 80 \text{ km/h (βλ. πίνακα 1)}$$

$$f_i = \text{συντελεστής κλίσεως: } f_i = 1.15 \text{ για κλίση } +3\%$$

$$f_i = 0.9 \text{ για κλίση } -3\% \text{ (βλ. πίνακα 2)}$$

$$f_H = \text{συντελεστής υψόμετρου: } f_H = 1.70 \text{ για υψόμετρο } 900 \text{ m (βλ. πίνακα 3)}$$

$$D = \text{οχήματα / Km σήραγγας} = (\text{οχήματα} / \text{h}) / \text{ταχύτητα οχημάτων (Km/h)} \Rightarrow$$

$$\text{κατά την άνοδο: } D = (2\ 000 \times 0.6 \times 0.80) / 80 = 12$$

$$\text{κατά την κάθοδο: } D = (2\ 000 \times 0.4 \times 0.80) / 80 = 8$$

$$CO_{lim} = \text{όριο συγκέντρωσης CO για ομαλή ροή} = 100 \text{ ppm.}$$

$$L = \text{μήκος σήραγγας σε Km: } L = 1.1 \text{ Km}$$

Άρα η απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση του CO υπολογίζεται ως:

$$Q_{CO} = [(0.6 \times 1.20 \times 1.15 \times 1.70) / 3600] \times 12 \times (10^6/100) \times 1.1 + \\ [(0.6 \times 1.20 \times 0.9 \times 1.70) / 3600] \times 8 \times (10^6/100) \times 1.1 \Rightarrow$$

$$Q_{CO} = 51.61 + 26.93 \Rightarrow$$

$$Q_{CO} = 78.54 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.2. Απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση αιθάλης (οχήματα με κινητήρες Diesel – βαριά οχήματα)

Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα (m^3/s) δίνεται από τον τύπο:

$$Q_T = (d_T^\circ \times m \times f_{iv} \times f_H) / 3600 \times D \times 1/K_{lim} \times L$$

όπου:

d_T° = παραγόμενη ποσότητα αιθάλης = $16 \text{ m}^2 / \text{h TN}$ για ταχύτητα 60 Km/h, κλίση = 0, υψόμετρο = 0

m = μέσο βάρος φορτηγού = 16 TN

f_{iv} = συντελεστής ταχύτητας και κλίσης: $f_{iv} = 2.2$ (κλίση +3%, ταχύτητα 80 Km/h, βλ. *πίνακα 4*)

$f_{iv} = 0.43$ (κλίση -3%, ταχύτητα 80 Km/h)

f_H = συντελεστής υψόμετρου: $f_H = 1.80$ για υψόμετρο 900 m (βλ. *πίνακα 5*)

D = οχήματα / Km σήραγγας = (οχήματα / h) / ταχύτητα οχημάτων (Km/h) \Rightarrow

κατά την άνοδο: $D = (2\ 000 \times 0.6 \times 0.20) / 80 = 3$

κατά την κάθοδο: $D = (2\ 000 \times 0.4 \times 0.20) / 80 = 2$

$K_{lim} = 0.006 \text{ m}^{-1}$

L = μήκος σήραγγας σε Km: $L = 1.1 \text{ Km}$

Άρα η απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση της αιθάλης υπολογίζεται ως:

$$Q_T = [(16 \times 16 \times 2.2 \times 1.80) / 3600] \times 3 \times (1/0.006) \times 1.1 + [(16 \times 16 \times 0.43 \times 1.80) / 3600] \times 2 \times (1/0.006) \times 1.1 \Rightarrow$$

$$Q_T = 154.88 + 20.18 \Rightarrow$$

$$Q_T = 175.06 \text{ m}^3/\text{s}$$

Συνεπώς η ελάχιστη απαιτούμενη παροχή αέρα για ομαλή ροή είναι:

$$Q = 175.06 \text{ m}^3/\text{s}$$

1.3. Έλεγχος μέσης ταχύτητας αέρα μέσα στη σήραγγα

Η μέση ταχύτητα του αέρα μέσα στη σήραγγα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 8 m/s για λειτουργικούς λόγους. Με την παροχή αέρα που υπολογίσαμε και βάση της διατομής της σήραγγας:

$$v_{\text{αέρα}} = 175.06 / A = 175.06 / 60 = \underline{2.92 \text{ m/s} < 8 \text{ m/s O.K.}}$$

2. Εύρεση απαιτούμενης ποσότητας αέρα για συνθήκες δυσχερούς κίνησης (μποτιλιάρισμα)

Υπολογίζεται ακολούθως η ποσότητα αέρα που απαιτείται για την αραίωση CO και η απαιτούμενη ποσότητα για την αραίωση της αιθάλης, για συνθήκες δυσχερούς κίνησης των οχημάτων (μποτιλιάρισμα).

2.1. Απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση CO (οχήματα με κινητήρες Otto – επιβατικά οχήματα)

Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα (m^3/s) δίνεται από τον τύπο:

$$Q_{\text{CO}} = (d^{\circ}_{\text{CO}} \times f_v \times f_i \times f_H) / 3600 \times D \times 10^6 / \text{CO}_{\text{lim}} \times L$$

όπου:

$$d_{CO}^o = 0.6 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ όχημα (παραγωγή CO ανά όχημα)}$$

$$f_v = \text{συντελεστής ταχύτητας: } f_v = 0.52 \text{ για ταχύτητα } 10 \text{ km/h (βλ. πίνακα 1)}$$

$$f_i = \text{συντελεστής κλίσεως: } f_i = 1.15 \text{ για κλίση } +3\%$$

$$f_i = 0.9 \text{ για κλίση } -3\% \text{ (βλ. πίνακα 2)}$$

$$f_h = \text{συντελεστής υψόμετρου: } f_h = 1.70 \text{ για υψόμετρο } 900 \text{ m (βλ. πίνακα 3)}$$

$$D = \text{οχήματα / Km σήραγγας} = (\text{οχήματα / h}) / \text{ταχύτητα οχημάτων (Km/h)} \Rightarrow$$

$$\text{κατά την άνοδο: } D = (2\,000 \times 0.6 \times 0.80) / 10 = 96$$

$$\text{κατά την κάθοδο: } D = (2\,000 \times 0.4 \times 0.80) / 10 = 64$$

$$CO_{lim} = \text{όριο συγκέντρωσης CO για ομαλή ροή} = 150 \text{ ppm.}$$

$$L = \text{μήκος σήραγγας σε Km: } L = 1.1 \text{ Km}$$

Άρα η απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση του CO υπολογίζεται ως:

$$Q_{CO} = [(0.6 \times 0.52 \times 1.15 \times 1.70) / 3600] \times 96 \times (10^6 / 150) \times 1.1 +$$

$$[(0.6 \times 0.52 \times 0.9 \times 1.70) / 3600] \times 64 \times (10^6 / 150) \times 1.1 \Rightarrow$$

$$Q_{CO} = 119.28 + 62.23 \Rightarrow$$

$$Q_{CO} = 181.51 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.2. Απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση αιθάλης (οχήματα με κινητήρες Diesel – βαριά οχήματα)

Η απαιτούμενη ποσότητα αέρα (m^3/s) δίνεται από τον τύπο:

$$Q_T = (d_T^o \times m \times f_{iv} \times f_H) / 3600 \times D \times 1 / K_{lim} \times L$$

όπου:

$d_T^o =$ παραγόμενη ποσότητα αιθάλης = $16 \text{ m}^2 / \text{h TN}$ για ταχύτητα 10 Km/h , κλίση = 0,
υψόμετρο = 0

$$m = \text{μέσο βάρος φορτηγού} = 16 \text{ TN}$$

f_{iv} = συντελεστής ταχύτητας και κλίσης: $f_{iv} = 0.3$ (κλίση +3%, ταχύτητα 10 Km/h, βλ. πίνακα 4)

$$f_{iv} = 0.16 \text{ (κλίση -3%, ταχύτητα 10 Km/h)}$$

f_H = συντελεστής υψόμετρου: $f_H = 1.80$ για υψόμετρο 900 m (βλ. πίνακα 5)

D = οχήματα / Km σήραγγας = (οχήματα / h) / ταχύτητα οχημάτων (Km/h) \Rightarrow

κατά την άνοδο: $D = (2\ 000 \times 0.6 \times 0.20) / 10 = 24$

κατά την κάθοδο: $D = (2\ 000 \times 0.4 \times 0.20) / 10 = 16$

$$K_{lim} = 0.009 \text{ m}^{-1}$$

L = μήκος σήραγγας σε Km: $L = 1.1 \text{ Km}$

Άρα η απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση της αιθάλης υπολογίζεται ως:

$$Q_T = [(16 \times 16 \times 0.30 \times 1.80) / 3600] \times 24 \times (1/0.009) \times 1.1 + [(16 \times 16 \times 0.16 \times 1.80) / 3600] \times 16 \times (1/0.009) \times 1.1 \Rightarrow$$

$$Q_T = 112.64 + 40.05 \Rightarrow$$

$$Q_T = 152.69 \text{ m}^3/\text{s}$$

Συνεπώς η ελάχιστη απαιτούμενη παροχή αέρα για συνθήκες δυσχερούς κίνησης είναι:

$$Q = 181.51 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.3. Έλεγχος μέσης ταχύτητας αέρα μέσα στη σήραγγα

Η μέση ταχύτητα του αέρα μέσα στη σήραγγα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 8 m/s για λειτουργικούς λόγους. Με την παροχή αέρα που υπολογίσαμε και βάση της διατομής της σήραγγας:

$$v_{αέρα} = 181.51 / A = 181.51 / 60 = \underline{3.025 \text{ m/s}} < 8 \text{ m/s O.K.}$$

3. Εύρεση απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την περίπτωση πυρκαγιάς

Για την αποφυγή του φαινομένου επιστροφής καπνού (back layering) η ταχύτητα του αέρα στην σήραγγα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την V_{cr} που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{cr} = 0.61 \{ (g \times H \times Q) / (p \times C_p \times A \times T_f) \}^{1/3} \times k_g$$

- k_g = συντελεστής κλίσης = 1.15 (βλ. πίνακα 2 για κλίση +3%)
 A = διατομή σήραγγας = 60 m²
 Q = θερμική ισχύς πυρκαγιάς = 100 MW
 g = επιτάχυνση βαρύτητας = 9.81 m/s²
 H = ύψος διατομής σήραγγας = 7.5 m
 p = πυκνότητα αέρα = 1 Kg/m³
 C_p = ειδική θερμότητα αέρα υπό σταθερή πίεση = 1 100 J/Kg.K
 T_f = θερμοκρασία θερμών αερίων = $Q / (p \times C_p \times A \times V_{cr}) + T$
 T = θερμοκρασία αέρα = 273 + 15 = 288° K

Άρα η απαιτούμενη ταχύτητα V_{cr} είναι:

$$V_{cr} = 0.61 \{ (9.81 \times 7.5 \times 50 \times 10^6) / (1 \times 1100 \times 60 \times T_f) \}^{1/3} \times 1.15 \Rightarrow$$

$$V_{cr}^3 = 0.7^3 \times 55\,378.6 / T_f \Rightarrow$$

$$T_f = 18\,995 / V_{cr}^3 \quad (1)$$

Όμως:

$$T_f = 50 \times 10^6 / (1 \times 1100 \times 60 \times V_{cr}) + 288 \Rightarrow$$

$$T_f = 288 + 757.6 / V_{cr} \quad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:

$$288 V_{cr}^3 + 757.6 V_{cr}^2 - 18\,995 = 0 \quad \text{ή}$$

$$V_{cr}^3 + 2.63 V_{cr}^2 - 65.95 = 0$$

Με την μέθοδο των δοκιμών προκύπτει:

$$\boxed{V_{cr} = 3.325 \text{ m/s}}$$

Επομένως για συνθήκες κανονικής ροής προέκυψε απαίτηση μέσης ταχύτητας αέρα στη σήραγγα ίση με 2.92 m/s. Για συνθήκες δυσχερούς κίνησης (μποτιλιάρισμα), η τιμή της μέσης

ταχύτητας αέρα προέκυψε ίση με 3.025 m/s. Τέλος για την περίπτωση πυρκαγιάς η αντίστοιχη ταχύτητα προέκυψε ίση με 3.325 m/s.

Έτσι λοιπόν ο υπολογισμός των απωλειών ενέργειας θα γίνει στην συνέχεια για την δυσμενέστερη από τις 3 περιπτώσεις (περίπτωση πυρκαγιάς όπου $V = 3.325 \text{ m/s}$), έτσι ώστε ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των αξονικών ανεμιστήρων για τον αερισμό της σήραγγας να καλύπτει τις απαιτήσεις και των τριών πιθανών καταστάσεων στην σήραγγα.

4. Εύρεση απαιτούμενου αριθμού αξονικών ανεμιστήρων τοποθετημένων στην οροφή της σήραγγας.

Για την συγκεκριμένη σήραγγα λόγω του μικρού σχετικά μήκους της, θα γίνει χρήση διαμήκους αερισμού που αποτελείται από αξονικούς ανεμιστήρες τοποθετημένους στην οροφή της σήραγγας. Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης ενέργειας μεταξύ δύο διατομών της σήραγγας λίγο πριν και λίγο μετά τον ανεμιστήρα προκύπτει ότι η παρεχόμενη ενέργεια από τον ανεμιστήρα πρέπει να είναι ίση με το άθροισμα των απωλειών ενέργειας (γραμμικών και εντοπισμένων) στη σήραγγα. Δηλαδή οι αξονικοί ανεμιστήρες που θα τοποθετηθούν πρέπει να παρέχουν ενέργεια που να ξεπερνά τις οποιοσδήποτε απώλειες ενέργειας στη σήραγγα, συνεπώς το πιεζομετρικό ύψος των ανεμιστήρων τίθεται οριακά ίσο με το άθροισμα των πιεζομετρικών υψών που αντιστοιχούν στις απώλειες ενέργειας. Από την συνθήκη αυτή θα υπολογιστεί και ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων στη σήραγγα.

4.1. Υπολογισμός απωλειών ενέργειας στη σήραγγα για την δυσμενέστερη περίπτωση (από τις 3 πιθανές καταστάσεις – περίπτωση πυρκαγιάς)

α) Γραμμικές υδραυλικές απώλειες:

Είναι:

$$\Delta h_{\text{απ}} = \lambda \times L/D_h \times V^2/2g$$

όπου:

λ : Συντελεστής γραμμικών απωλειών, προκύπτει από το διάγραμμα Moody

L = μήκος σωλήνα (σήραγγας) = 1 100 m

D_h = υδραυλική διάμετρος = $4 \times A / S = 4 \times 60 / 30 = 8 \text{ m}$

(A = διατομή σήραγγας = 60 m^2 , S = περίμετρος διατομής = 30 m)

V = μέση ταχύτητα αέρα στην σήραγγα = 3.325 m/s

Υπολογισμός συντελεστή λ

Αριθμός Reynolds:

$$Re = V \times D_h / \nu$$

όπου:

ν = κινηματική συνεκτικότητα αέρα = $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, άρα:

$$Re = 3.325 \times 8 / 15 \times 10^{-6} = 1.77 \times 10^6$$

Η τραχύτητα του σκυροδέματος της επένδυσης της σήραγγας:

$$\epsilon = 0.15 \text{ mm} = 0.00015 \text{ m}$$

Σχετική τραχύτητα:

$$\epsilon / D_h = 0.15 \times 10^3 / 8 = 1.87 \times 10^{-5}$$

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα Moody $\Rightarrow \lambda = 0.013$

Επομένως οι γραμμικές απώλειες είναι:

$$\Delta h_{\text{απ}} = 0.013 \times (1100 / 8) \times 3.325^2 / (2 \times 9.81) = \underline{1.007 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

β) Απώλειες εισόδου αέρα στη σήραγγα:

Είναι ίσες προς:

$$0.5 \times V^2/2g = 0.5 \times 3.325^2 / (2 \times 9.81) = \underline{0.28 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

γ) Απώλειες εξόδου αέρα στη σήραγγα:

Είναι ίσες προς:

$$V^2/2g = 3.325^2 / (2 \times 9.81) = \underline{0.56 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

δ) Πίεση στην έξοδο της σήραγγας εάν ο άνεμος την συναντά ομοαξονικά:

$$P_{εξ} = V_{ανέμου}^2 / 2g = 10.0^2 / (2 \times 9.81) = \underline{5.09 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

ε) Φαινόμενο εμβόλου.

Εάν τα οχήματα κινούνται προς την διεύθυνση κίνησης του αέρα των ανεμιστήρων της σήραγγας τότε αυτά βοηθούν στην κίνηση του αέρα. Το αντίθετο συμβαίνει όταν κινούνται αντίθετα προς την κατεύθυνση του αέρα της σήραγγας. Η πρώτη περίπτωση εκφράζεται με έναν όρο αρνητικό και η δεύτερη με έναν όρο θετικό. Οι όροι αυτοί προκύπτουν από την αεροδυναμική αντίσταση των οχημάτων και δίνονται από τις σχέσεις:

Για την άνοδο:

$$-\frac{1}{A} \times \frac{1}{2g} (V_{OX} - V_{\Sigma HP})^2 \times C_D \times A_{OX} \times N \times L$$

Για την κάθοδο:

$$\frac{1}{A} \times \frac{1}{2g} (V_{OX} + V_{\Sigma HP})^2 \times C_D \times A_{OX} \times N \times L$$

όπου:

$$V_{OX} = 80 \text{ Km/h} = 22.2 \text{ m/s}$$

$$V_{\Sigma HP} = 3.325 \text{ m/s}$$

$$C_D = \text{αεροδυναμικός συντελεστής} = 0.35 \text{ (επιβατικά)}, 0.80 \text{ (φορτηγά)}$$

$$A = \text{Διατομή της σήραγγας} = 60 \text{ m}^2$$

$$A_{OX} = \text{Επιφάνεια προσβολής οχήματος} = 2 \text{ m}^2 \text{ (επιβατικά)}, 6 \text{ m}^2 \text{ (φορτηγά)}$$

$$L = \text{μήκος της σήραγγας} = 1.1 \text{ Km}$$

$N = (\text{οχήματα} / \text{h}) / (\text{ταχύτητα οχημάτων σε Km/h})$, υπολογίζεται για όλες τις καταστάσεις ως:

Επιβατικά		Φορτηγά	
Άνοδος	Κάθοδος	Άνοδος	Κάθοδος
2000 x 0.6 x 0.8 / 80	2000 x 0.4 x 0.8 / 80	2000 x 0.6 x 0.2 / 80	2000 x 0.4 x 0.2 / 80
12	8	3	2

Άρα το φαινόμενο του εμβόλου είναι:

για τα επιβατικά:

$$\text{Άνοδος: } - (1/60) \times (1/2 \times 9.81) \times (22.2 - 3.325)^2 \times 0.35 \times 2 \times 12 \times 1.1 = \underline{-2.796 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

$$\text{Κάθοδος: } (1/60) \times (1/2 \times 9.81) \times (22.2 + 3.325)^2 \times 0.35 \times 2 \times 8 \times 1.1 = \underline{3.409 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

για τα φορτηγά:

$$\text{Άνοδος: } - (1/60) \times (1/2 \times 9.81) \times (22.2 - 3.325)^2 \times 0.80 \times 6 \times 3 \times 1.1 = \underline{-4.79 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

$$\text{Κάθοδος: } (1/60) \times (1/2 \times 9.81) \times (22.2 + 3.325)^2 \times 0.80 \times 6 \times 2 \times 1.1 = \underline{5.84 \text{ m}\Sigma\text{A}}$$

Συνολικά αθροίζοντας προκύπτει φαινόμενο εμβόλου = 1.663 mΣA

στ) Συνολικές απώλειες.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των πέντε προηγούμενων πιεζομετρικών υψών, δηλαδή:

$$\boxed{\Sigma = 1.007 + 0.28 + 0.56 + 5.09 + 1.663 = \mathbf{8.60 \text{ m}\Sigma\text{A}}}$$

4.2. Τελικοί υπολογισμοί – διαστασιολόγηση

Θα γίνει: Υπολογισμός απαιτούμενου αριθμού αξονικών ανεμιστήρων τοποθετημένων στην οροφή της σήραγγας – Εύρεση συνολικής ισχύος αυτών – Σύγκριση της ισχύος των ανεμιστήρων με την ισχύ που προσφέρεται στο ρευστό.

Ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων θα υπολογιστεί για την δυσμενέστερη από τις 3 καταστάσεις, που όπως αποδείχθηκε είναι η κατάσταση πυρκαγιάς στην σήραγγα. Για την περίπτωση αυτή έχουμε:

$$Q = 199.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 3.325 \text{ m/s}$$

$$\Delta h = 8.60 \text{ m}\Sigma\text{A}$$

Από τον πίνακα με τους διαθέσιμους τύπους ανεμιστήρων (πίνακας 6) επιλέγεται ο ανεμιστήρας τύπου 125J με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

$$Q_j = 26.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_j = 21.8 \text{ m/s}$$

$$\text{Ονομαστική ισχύς} = 11.8 \text{ kW}$$

Ισχύει: $P_{\text{ανεμ}} \times A = z \times \rho \times Q_j \times (V_j - V) \times \eta$ όπου

$$P_{\text{ανεμ}} = H_{\text{ανεμ}} \times \rho \times g = 8.60 \times 1 \times 9.81 = 84.37 \text{ N/m}^2$$

Άρα: $84.37 \times 60 = z \times 1 \times 26.8 \times (21.8 - 3.325) \times 1 \Rightarrow$

$$5062.2 = z \times 26.8 \times 18.475 \Rightarrow z = 11 \text{ ανεμιστήρες}$$

Συνεπώς τοποθετούνται 11 ανεμιστήρες με συνολική ισχύ ανεμιστήρων:

$$N_{\text{ανεμ}} = 11 \times 11.8 = 129.8 \text{ kW}$$

Ισχύς προσφερόμενη στο ρευστό:

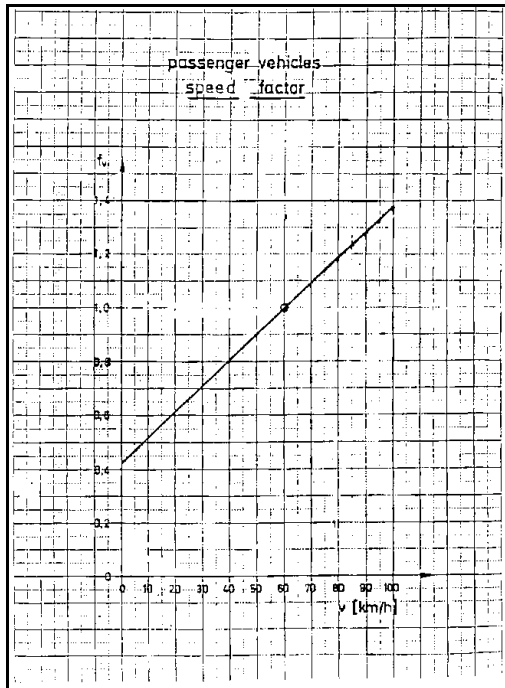
$$N_{\text{παρεχ}} = \Delta p \times Q = 84.37 \times 199.50 = 16.83 \text{ kW}$$

Η ισχύς που προσφέρεται στο ρευστό είναι πολύ μικρότερη από την ηλεκτρική ισχύ των ανεμιστήρων. Πράγματι ο λόγος τους είναι ίσος με:

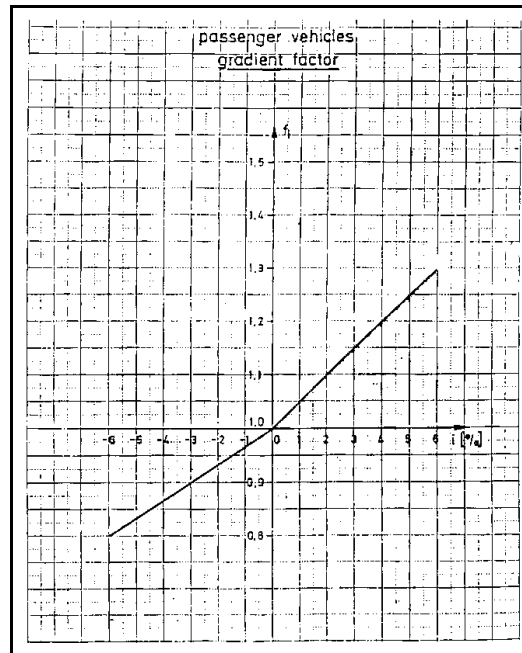
$$N_{\text{ανεμ}} / N_{\text{παρεχ}} = 129.8 / 16.83 = 7.7 \Rightarrow N_{\text{ανεμ}} = 7.7 N_{\text{παρεχ}}$$

Ακολουθεί παράρτημα με τους πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς – διαστασιολόγηση των ανεμιστήρων.

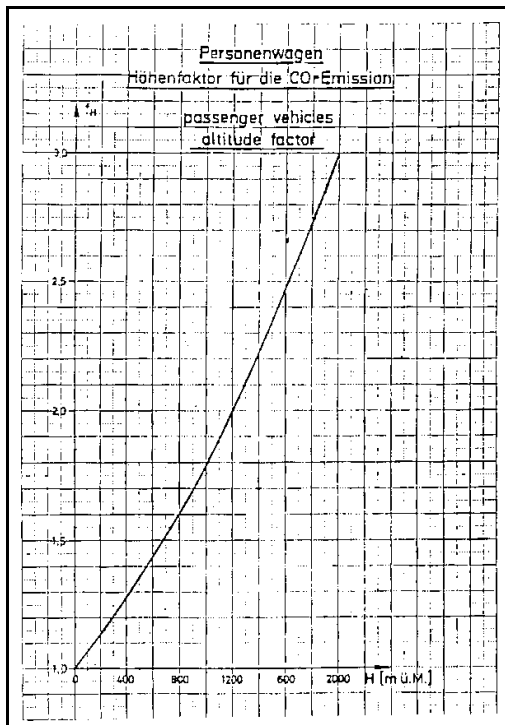
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (πίνακες)



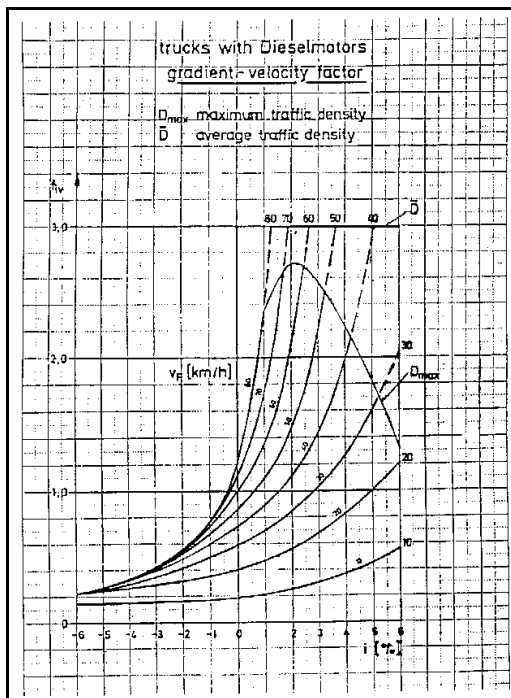
Πίνακας 1



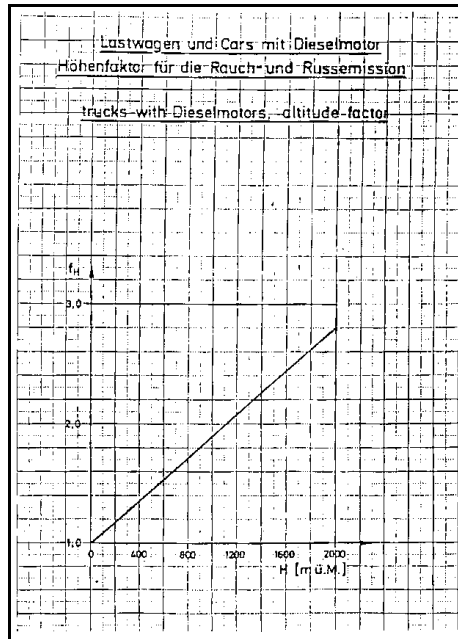
Πίνακας 2



Πίνακας 3



Πίνακας 4



Πίνακας 5

Fan Type	Speed rev/min	Blade Angle	Thrust (N)	Volume Flow (m ³ /s)	Outlet Velocity (m/s)	Absorbed Power kW	N/kW	Frame Size	Motor Rating (kW)	Sound Power dBW	Sound Pressure dBW
50J	2900	25	152	5	25.5	3.3	46.1	F2225	3.3	91	56
50J	2900	36	231	6.1	31.1	6.4	36.1	F2229	6.5	96	61
56J	2900	26	246	7	28.4	6.2	39.7	F2229	6.5	96	61
56J	2900	30	290	7.6	30.9	8.1	35.8	D132/19	8.5	97	62
56J	2900	35	346	8.2	33.3	10.7	32.3	D132/22	11	100	65
63J	2900	21	303	9.1	29.2	8.4	36.1	D132/19	8.5	96	62
63J	2900	26	403	10.4	33.4	12.2	33	D160/18	13	99	65
63J	2900	31	497	11.7	37.5	16.7	29.8	D160/23	17.5	101	67
63J	2900	37	601	13.5	43.3	23	26.1	D160/32	27	104	70
71K	2950	22	535	13	32.8	16.7	32	D160/23	17.5	101	68
71K	2950	25	630	14.2	35.9	21	30	D160/28	22	103	70
71K	2950	28	735	15.2	38.4	26.4	27.8	D180/40	40	104	71
80J	1450	24	239	10.5	20.9	3.9	61.3	F2249	4.2	86	54
80J	1450	31	323	12.2	24.3	6.3	51.3	D132/18	6.3	87	55
80J	1450	37	394	13.2	26.3	8.6	45.8	D132/24	9	90	58
80J	1450	42	452	13.8	27.5	10.9	41.5	D160/20	13	93	61
90J	1450	27	440	15.8	24.8	8.8	50	D132/24	9	90	58
90J	1450	33	554	17.6	27.7	12.8	43.3	D160/20	13	92	60
90J	1450	38	649	18.7	29.4	16.5	39.3	D160/26	17	94	62
90J	1450	42	724	19.3	30.3	19.8	36.6	D160/40	26	97	65
100J	940	28	291	14	17.8	4.4	66.1	D132/19	4.5	84	50
100J	940	34	364	15.5	19.7	6.3	57.8	D132/26	6.3	85	51
100J	940	40	436	16.5	21	8.5	51.3	D160/23	9.5	88	54
100J	940	42	459	16.7	21.3	9.3	49.4	D160/30	13	90	56
100J	1470	24	590	19.9	25.3	12.6	46.8	D160/20	13	93	61
100J	1470	28	710	21.9	27.9	16.8	42.3	D160/26	17	94	62
100J	1470	34	920	24.2	30.8	24	38.3	D160/40	26	96	64
100J	1470	41	1100	26.2	33.4	30	36.7	D180/40	32	100	68
112J	960	24	401	18.1	18.4	6	66.8	D132/26	6.3	89	55
112J	960	29	499	20.4	20.7	8.5	58.7	D160/23	9.5	89	55
112J	960	35	619	22.7	23	12.2	50.7	D160/30	13	91	57
112J	960	40	721	24.3	24.7	15.8	45.6	D160/40	17.5	93	59
112J	1470	21	805	25.4	25.8	16.7	48.2	D160/26	17	98	66
112J	1470	28	1125	30.5	31	28.6	39.3	D180/40	32	99	67
112J	1470	34	1410	34.2	34.7	41.5	34	D200/40	42	101	69
112J	1470	40	1691	37.2	37.8	56.7	29.8	D200/57	65	103	71
125J	960	25	649	26.8	21.8	11.8	55	D160/30	13	92	58
125J	960	30	807	30	24.4	16.9	47.8	D160/40	17.5	94	60
125J	960	33	899	31.7	25.8	20.4	44.1	D180/40	23	95	61
125J	960	40	1103	35.2	28.7	29.7	37.1	D200/46	31	97	63
125J	1470	19	1059	34.2	27.9	24.8	48.2	D160/40	26	101	69
125J	1470	22	1280	37.5	30.6	32.5	39.4	W200/LF	32	101	69
125J	1470	27	1670	43	35	49.3	33.9	D200/46	51	103	71
125J	1470	33	2107	48.6	39.6	73.1	28.8	W225/MF	73	105	73

Πίνακας 6

ΘΕΜΑ 2ο**ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΛΗΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ****ΟΜΑΔΑ: Ι=6**

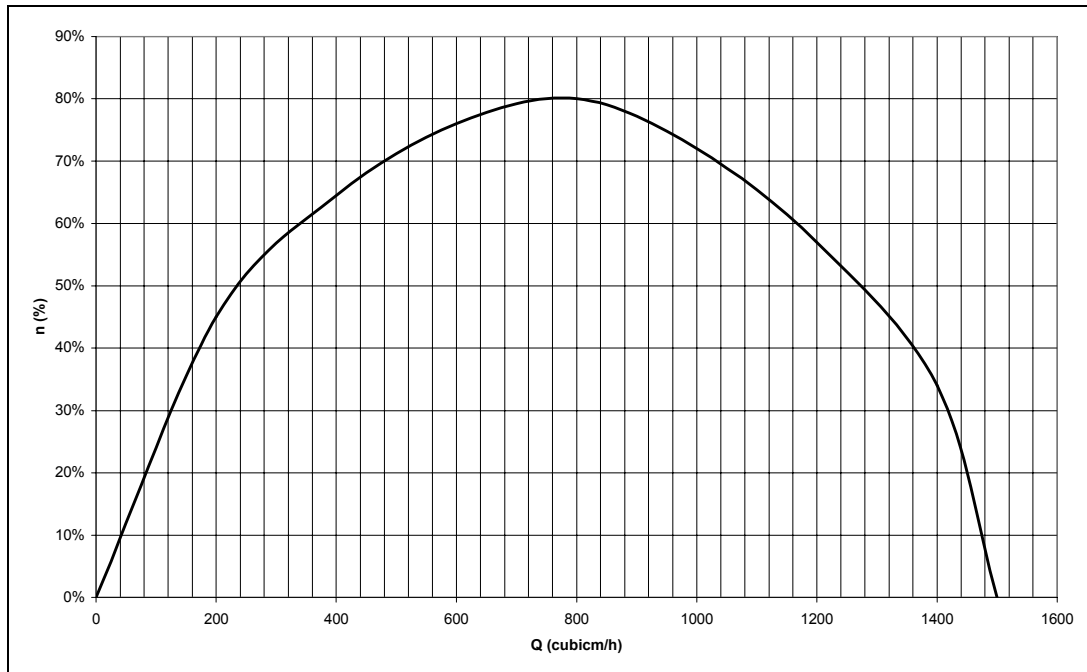
Το δεύτερο θέμα είναι ανεξάρτητο από τον αριθμό ομάδας και τα δεδομένα είναι κοινά για όλες τις ομάδες και περιγράφονται στην εκφώνηση του θέματος.

Ακόμα στο θέμα δεν δίνονται στοιχεία για το μήκος των σωλήνων της αντλητικής εγκατάστασης. Οι υδραυλικές απώλειες (γραμμικές απώλειες) υπολογίζονται βάση τύπου που δίνεται στην εκφώνηση του θέματος.

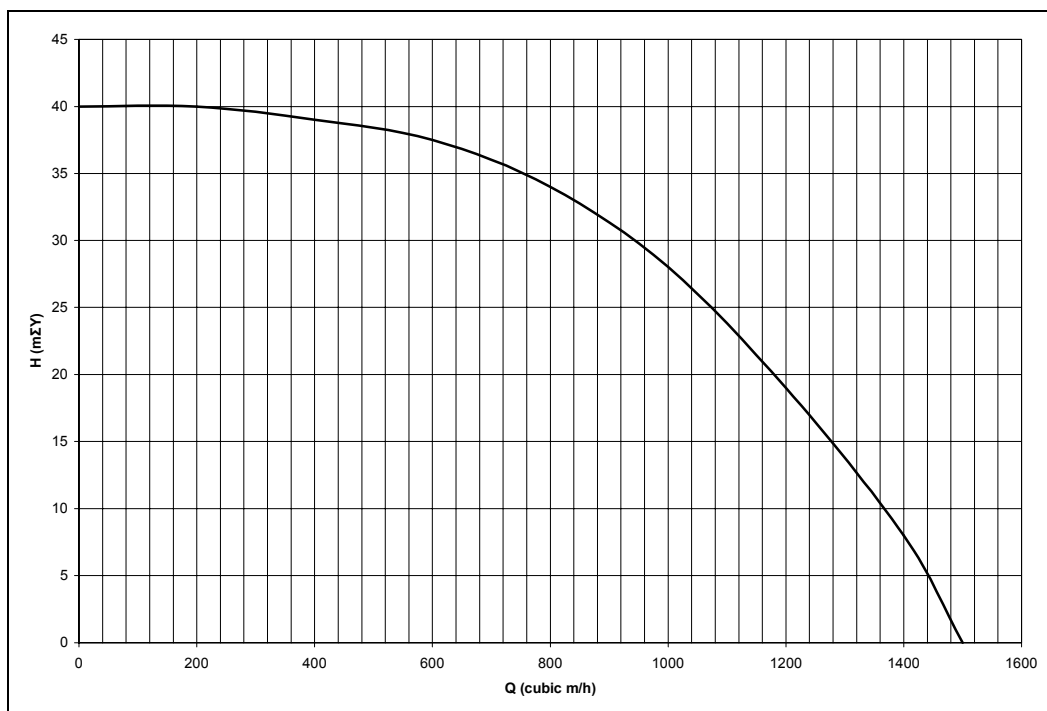
Η αντλητική εγκατάσταση περιλαμβάνει κυρίως καταθλιπτικό σωλήνα και ένα μικρό κλάδο αναρροφητικού σωλήνα.

1. Δεδομένα για τις αντλίες

Οι αντλίες της εγκατάστασης είναι πανομοιότυπες και οι καμπύλες ύψους και βαθμού απόδοσης είναι οι παρακάτω



Διάγραμμα 1, Καμπύλη Βαθμού απόδοσης αντλίας



Διάγραμμα 2, Καμπύλη ύψους αντλίας

2. Υπολογισμός για την περίπτωση λειτουργίας μίας αντλίας

Η αντλία προσφέροντας ενέργεια καλείται να καλύψει:

- Την διαφορά υψομέτρου μεταξύ των δύο δεξαμενών = 10 m
- Τις τοπικές απώλειες στις αλλαγές διατομών και στις εισόδους - εξόδους
- Τις γραμμικές απώλειες στους σωλήνες

Εφαρμόζοντας την εξίσωση ενέργειας από την μία δεξαμενή στην άλλη:

$$P_1/\gamma + H = P_2/\gamma + h + \Delta h_{\text{απ}}$$

όπου:

H: Το ύψος που προσφέρει η αντλία

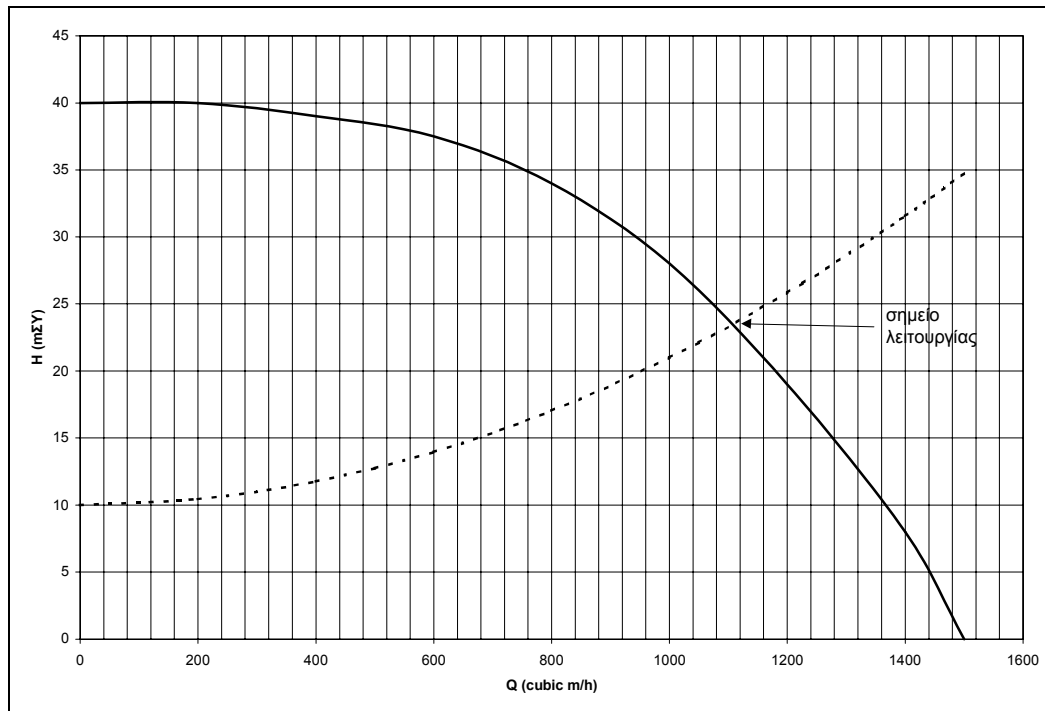
h: Το υψόμετρο της στάθμης της δεξαμενής 2 ως προς την 1 = 10 m

$\Delta h_{\text{απ}}$: συνολικές απώλειες = $Q^2 \times (\kappa_1 + \kappa_2) = Q^2 \times 11 \times \kappa_1 = 1.1 \times 10^{-5} \times Q^2$

Οπότε η σχέση της χαρακτηριστικής καμπύλης της σωλήνωσης είναι :

$$H = 10.00 + 1.1 \times 10^{-5} \times Q^2$$

Η λύση προκύπτει γραφικά σχεδιάζοντας την χαρακτηριστική καμπύλη της σωλήνωσης πάνω στην καμπύλη ύψους της αντλίας:



Διάγραμμα 3, λειτουργία μίας αντλίας

Από το διάγραμμα 3 γραφικά υπολογίζουμε το σημείο λειτουργίας:

$$Q = \underline{1105 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$H = \underline{23 \text{ m}}$$

Σε αυτήν την παροχή η απόδοση της αντλίας (βλ. διάγραμμα 1) είναι $n = 65 \%$

είναι:

$$n = \gamma H Q / N \Rightarrow N = \gamma H Q / n$$

όπου: $\gamma = 9.81 \text{ kN} / \text{m}^3$

$$H = 23 \text{ m}$$

$$Q = 1105 \text{ m}^3/\text{h} = 0.3069 \text{ m}^3/\text{s}$$

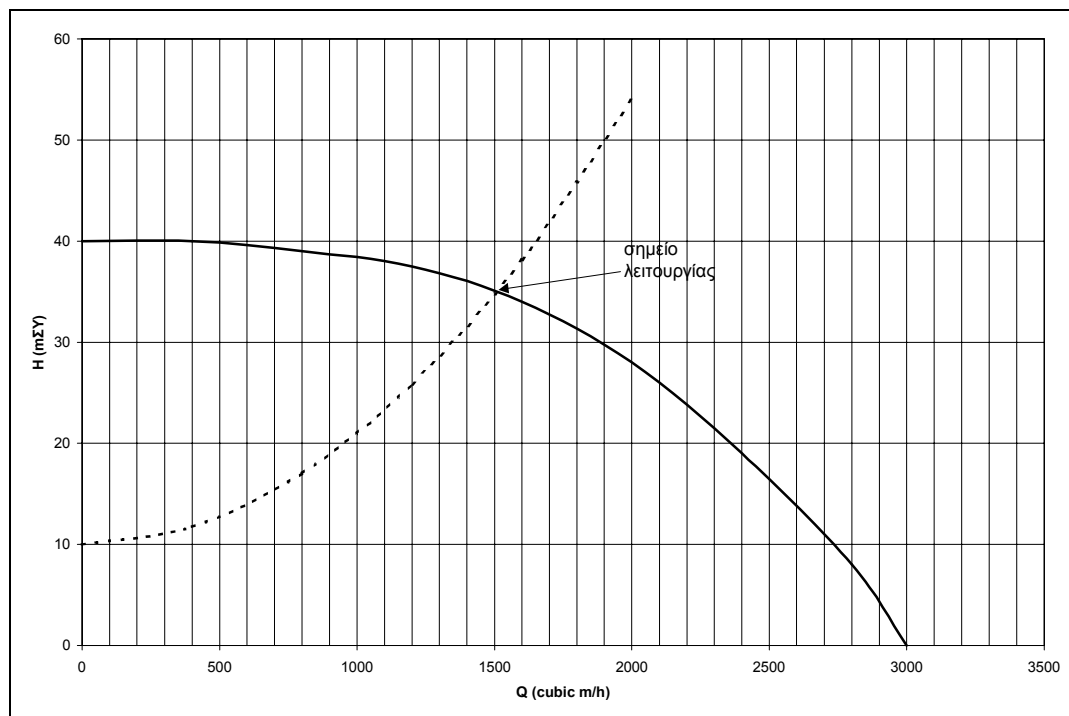
οπότε $N = 9.81 \times 23 \times 0.3069 / 0.65 = \underline{106.5 \text{ kW}} = \underline{145 \text{ hp}}$ (μετρικοί ίπποι)

3. Υπολογισμός για την περίπτωση λειτουργίας δύο αντλιών παράλληλα

Εργαζόμαστε όπως πριν. Αντικαθιστούμε το σύστημα των δύο αντλιών με μια ισοδύναμη αντλία όπου το διάγραμμα του ύψους της είναι το άθροισμα των επιμέρους διαγραμμάτων. Επειδή δε οι αντλίες είναι πανομοιότυπες μπορούμε να δεχθούμε ότι η ισοδύναμη αντλία έχει:

$$Q_{\text{ισοδ.}}(H) = 2 Q (H)$$

Η λύση δίνεται γραφικά από το παρακάτω διάγραμμα, όπου έχουμε χαράξει την καμπύλη της ισοδύναμης αντλίας:



Διάγραμμα 4, λειτουργία δύο αντλιών

Από το *διάγραμμα 4* γραφικά υπολογίζουμε το σημείο λειτουργίας της ισοδύναμης αντλίας:

$$Q = \underline{1505 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$H = \underline{34.5 \text{ m}}$$

Η παροχή αυτή είναι η παροχή του συστήματος.

Σε κάθε μία από τις δύο αντλίες διέρχεται η μισή παροχή δηλαδή:

$$Q_{\text{αντλ}} = 752 \text{ m}^3/\text{h} = 0.209 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ο βαθμός απόδοσης κάθε μία αντλίας σύμφωνα με το διάγραμμα 1:

$$n = 80 \%$$

είναι:

$$n = \gamma H Q / N \Rightarrow N = \gamma H Q / n$$

όπου: $\gamma = 9.81 \text{ kN} / \text{m}^3$

$$H = 34,5 \text{ m}$$

$$Q = 752 \text{ m}^3/\text{h} = 0.209 \text{ m}^3/\text{s}$$

οπότε $N = 9.81 \times 34.5 \times 0.209 / 0.80 = \underline{\underline{88.5 \text{ kW} = 120 \text{ hp}}}$ (μετρικοί ίπποι)

Αυτή είναι η ισχύς λειτουργίας για κάθε μία από τις αντλίες
