

Thermosphere

Αντλίες Τροφοδοσίας Ατμολεβήτων

Τόμος 04



Τεχνική Βιβλιοθήκη
Thermosphere

Ατμός | Θέρμανση | Βιομηχανία | Τεχνολογία

ΑΝΤΛΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

Επαγγελματικός τεχνικός οδηγός — Τόμος 04

Έκδοση 2026 · Thermosphere

Πεδίο εφαρμογής: βιομηχανικοί ατμολέβητες, δοχεία τροφοδοσίας, απαερωτές, πολυβάθμιες φυγοκεντρικές αντλίες, ηλεκτροκινητήρες και αυτοματισμοί.

Πώς χρησιμοποιείται ο οδηγός

Οι τύποι και τα παραδείγματα είναι εκπαιδευτικά και δεν αποτελούν μελέτη συγκεκριμένης εγκατάστασης. Η τελική επιλογή αντλίας απαιτεί πραγματικές καμπύλες κατασκευαστή, θερμοκρασίες, διαστασιολόγηση δικτύου, ανάλυση κινδύνων και έλεγχο των ισχυόντων προτύπων. Δεν επιτρέπεται παράκαμψη προστασιών χαμηλής στάθμης ή εργασίες σε εξοπλισμό υπό πίεση.

Περιεχόμενα

1. Ρόλος και υδραυλική διάταξη
2. Τύποι αντλιών και μηχανική κατασκευή
3. Ισοζύγιο νερού και απαιτούμενη παροχή
4. Μανομετρικό ύψος και πίεση
5. Χαρακτηριστικές καμπύλες και σημείο λειτουργίας
6. NPSH, θερμοκρασία και σπηλαίωση
7. Αναρρόφηση, απαερωτής και σωληνώσεις
8. Ηλεκτροκινητήρας, ισχύς και ενέργεια
9. Έλεγχος στάθμης και inverter
10. Δύο αντλίες: κύρια και εφεδρική
11. Βαλβίδες, όργανα και προστασίες
12. Θέση σε λειτουργία και καθημερινοί έλεγχοι
13. Συντήρηση και αξιοπιστία
14. Διάγνωση βλαβών
15. Πλήρες παράδειγμα επιλογής
16. Τεχνικά φύλλα και λίστες ελέγχου
17. Βασικά πρότυπα και βιβλιογραφία

1. Ρόλος και υδραυλική διάταξη

Η αντλία τροφοδοσίας μεταφέρει επεξεργασμένο νερό από δοχείο τροφοδοσίας ή απαερωτή στον ατμολέβητα. Η πίεση κατάθλιψης πρέπει να υπερνικά την πίεση του λέβητα και τις πρόσθετες υδραυλικές αντιστάσεις. Παράλληλα, η παροχή πρέπει να ανταποκρίνεται στη μέγιστη απαίτηση ατμοπαραγωγής και στις πραγματικές απώλειες νερού.

Τυπική διαδρομή

Δοχείο τροφοδοσίας / απαερωτής → απομόνωση αναρρόφησης → κατάλληλο φίλτρο όπου προβλέπεται → αντλία → αντεπίστροφη → απομόνωση κατάθλιψης → διάταξη ρύθμισης παροχής → βαλβίδα τροφοδοσίας λέβητα. Η ακριβής σειρά, οι παρακάμψεις και οι ελάχιστες παροχές καθορίζονται από τη μελέτη και τον κατασκευαστή.

Κρίσιμες μεταβλητές

Μεταβλητή	Γιατί μετρά
Παροχή Q (m ³ /h)	Καλύπτει τη μέγιστη κατανάλωση νερού.
Διαφορική πίεση Δp (bar)	Υπερνικά λέβητα, υψομετρική διαφορά και τριβές.
Θερμοκρασία αναρρόφησης	Επηρεάζει τάση ατμών, NPSH και υλικά.
NPSH διαθέσιμο	Περιθώριο έναντι σπηλαίωσης.
Ελάχιστη σταθερή παροχή	Προστατεύει από υπερθέρμανση και ανακυκλοφορία.

Το σύστημα ασφαλείας χαμηλής στάθμης του λέβητα είναι ανεξάρτητη κρίσιμη λειτουργία. Η κανονική ρύθμιση της αντλίας δεν υποκαθιστά την προστασία του καυστήρα.

2. Τύποι αντλιών και μηχανική κατασκευή

Πολυβάθμιες φυγοκεντρικές

Στην πολυβάθμια αντλία το νερό διέρχεται από διαδοχτές πτερωτές. Κάθε βαθμίδα προσθέτει ενέργεια και επομένως μανομετρικό ύψος. Η παροχή παραμένει περίπου ίδια σε όλες τις βαθμίδες, ενώ το συνολικό μανομετρικό είναι το άθροισμα των βαθμίδων. Αυτή η αρχιτεκτονική εξυπηρετεί εφαρμογές υψηλής πίεσης με σχετικά μικρές ή μέσες παροχές.

Κύρια στοιχεία

Στοιχείο	Λειτουργία / έλεγχος
Πτερωτές και διαχύτες	Μετατρέπουν μηχανική ενέργεια σε πίεση. Ελέγχεται η φθορά και η διάβρωση.
Άξονας και έδρανα	Μεταφέρουν ροπή και συγκρατούν τον ρότορα. Ελέγχονται ευθυγράμμιση και κραδασμοί.
Μηχανικός στυπιοθλίπτης	Περιορίζει τη διαρροή στον άξονα. Επιλογή κατάλληλη για θερμό νερό.
Σύνδεσμος	Συνδέει κινητήρα και αντλία. Χρειάζεται ευθυγράμμιση και προφυλακτήρα.
Περίβλημα και σύνδεσμοι	Πρέπει να καλύπτουν πίεση, θερμοκρασία και ποιότητα νερού.

Οι θετικής εκτόπισης αντλίες απαντούν σε ειδικές εφαρμογές, αλλά για πολλές βιομηχανικές τροφοδοσίες ατμολεβήτων χρησιμοποιούνται πολυβάθμιες φυγοκεντρικές. Η επιλογή δεν γίνεται μόνο με βάση την ονομαστική πίεση.

3. Ισοζύγιο νερού και απαιτούμενη παροχή

Πρώτο βήμα είναι το ισοζύγιο μάζας. Για συνεχή λειτουργία, το νερό που εισέρχεται στον λέβητα ισούται περίπου με την παραγόμενη μάζα ατμού συν την απομάστευση και άλλες απώλειες. Η επιστροφή συμπυκνωμάτων μειώνει το απαιτούμενο νωπό νερό, όχι κατ' ανάγκη τη συνολική παροχή της αντλίας προς τον λέβητα.

Βασική σχέση

$\dot{m}_{\text{τροφοδοσίας}} = \dot{m}_{\text{ατμού}} + \dot{m}_{\text{απομάστευσης}}$ (όταν άλλες απώλειες είναι αμελητέες). Αν το ποσοστό απομάστευσης b ορίζεται ως κλάσμα της τροφοδοσίας, τότε $\dot{m}_{\text{τροφοδοσίας}} = \dot{m}_{\text{ατμού}} / (1 - b)$. Αν ορίζεται ως κλάσμα της ατμοπαραγωγής, τότε $\dot{m}_{\text{τροφοδοσίας}} = \dot{m}_{\text{ατμού}} \times (1 + b)$. Οι δύο ορισμοί δεν πρέπει να συγχέονται.

Υπολογισμένο παράδειγμα

Ατμοπαραγωγή 10.000 kg/h και απομάστευση 5% της τροφοδοσίας: $\dot{m}_{\text{τροφοδοσίας}} = 10.000 / 0,95 = 10.526 \text{ kg/h}$. Με πυκνότητα νερού 958 kg/m^3 (ενδεικτικά κοντά στους $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$), $Q = 10.526 / 958 = 10,99 \text{ m}^3/\text{h}$. Η πυκνότητα πρέπει να λαμβάνεται στη θερμοκρασία της αντλίας.

Για διαστασιολόγηση εξετάζονται αιχμές, μεταβατικές καταστάσεις, εφεδρεία, πραγματική απομάστευση και πιθανή λειτουργία περισσότερων λεβήτων. Ένα αυθαίρετο ποσοστό προσαύξησης δεν αντικαθιστά το ισοζύγιο.

4. Μανομετρικό ύψος και πίεση

Το ολικό δυναμικό μανομετρικό ύψος (TDH) εκφράζει την ενέργεια ανά μονάδα βάρους που πρέπει να προσθέσει η αντλία. Περιλαμβάνει διαφορά πίεσης, υψομετρική διαφορά και απώλειες τριβών.

Σχέση πίεσης-μανομετρικού

$H = \Delta p / (\rho g) + \Delta z + h_f$, με Δp σε Pa, ρ σε kg/m^3 , $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, Δz και h_f σε m. Προσοχή: η πίεση λέβητα σε barg είναι σχετική· πρέπει να συγκριθεί με τη σχετική πίεση στην αναρρόφηση στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

Παράδειγμα

Πίεση λέβητα 10 barg, πίεση στην επιφάνεια του δοχείου περίπου 0 barg, πυκνότητα 958 kg/m^3 :
ισοδύναμο ύψος πίεσης $\approx 1.000.000 / (958 \times 9,81) = 106,4 \text{ m}$. Με στατικό ύψος 4 m και απώλειες 12 m, $\text{TDH} \approx 122,4 \text{ m}$. Η πραγματική διάταξη βαλβίδων και η πίεση στον απαερωτή μπορούν να αλλάξουν σημαντικά το αποτέλεσμα.

Η πίεση ονομαστικής λειτουργίας και η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση των εξαρτημάτων ελέγχονται ξεχωριστά. Δεν επιλέγουμε αντλία μόνο με βάση το TDH χωρίς να εξετάσουμε shut-off head και μέγιστη πίεση του δικτύου.

5. Χαρακτηριστικές καμπύλες και σημείο λειτουργίας

Η καμπύλη Q-H της φυγοκεντρικής αντλίας συνήθως εμφανίζει μείωση μανομετρικού όσο αυξάνεται η παροχή. Η καμπύλη του δικτύου αυξάνεται με την παροχή, επειδή οι τριβές προσεγγιστικά μεταβάλλονται με Q^2 . Η τομή των δύο καμπυλών είναι το πραγματικό σημείο λειτουργίας.

Ανάγνωση διαγράμματος κατασκευαστή

Στο ίδιο σημείο ελέγχονται απόδοση η, απαιτούμενη ισχύς άξονα, NPSHr, επιτρεπόμενη περιοχή λειτουργίας και ελάχιστη συνεχής σταθερή παροχή. Ιδανικά το σημείο βρίσκεται κοντά στο BEP (Best Efficiency Point), χωρίς να παραβιάζει τις περιοχές αξιοπιστίας.

Μεταβολή στροφών

Για γεωμετρικά ίδια πτερωτή και περίπου σταθερή απόδοση, οι νόμοι ομοιότητας δίνουν $Q_2/Q_1 \approx n_2/n_1$, $H_2/H_1 \approx (n_2/n_1)^2$ και $P_2/P_1 \approx (n_2/n_1)^3$. Πρόκειται για προσεγγίσεις· σε σύστημα με μεγάλη στατική πίεση η πραγματική εξοικονόμηση δεν ακολουθεί απλώς τον κύβο.

Μείωση στροφών στο 90% δίνει θεωρητικά περίπου 81% μανομετρικό και 73% ισχύ για αντίστοιχα σημεία ομοιότητας. Όμως μια αντλία τροφοδοσίας πρέπει πρώτα να υπερνικήσει την πίεση του λέβητα: πολύ χαμηλές στροφές μπορεί να μη δίνουν καθόλου παροχή.

6. NPSH, θερμοκρασία και σπηλαίωση

Σπηλαίωση εμφανίζεται όταν η τοπική πίεση πέσει κοντά ή κάτω από την τάση ατμών του νερού. Οι φυσαλίδες που σχηματίζονται μπορούν να καταρρεύσουν σε περιοχές υψηλότερης πίεσης, προκαλώντας θόρυβο, κραδασμούς, απώλεια απόδοσης και διάβρωση/φθορά των πτερωτών. Το θερμό νερό τροφοδοσίας έχει ιδιαίτερη ευαισθησία.

Διαθέσιμο NPSH

$NPSH_a = (p_{\text{επιφάνειας,abs}} - p_{\text{ατμών}}) / (\rho g) + z_{\text{στάθμης}} - h_{f,\text{αναρρόφησης}}$, για δοχείο και αντλία με κοινό σύστημα αναφοράς. Η πίεση είναι απόλυτη, όχι barg. Το απαιτούμενο NPSH_r προκύπτει από την καμπύλη κατασκευαστή και δεν είναι γενικό σταθερό μέγεθος.

Ενδεικτικό παράδειγμα

Νερό κοντά στους 90 °C: τάση ατμών περίπου 70 kPa abs. Ανοικτό δοχείο σε 101 kPa abs, στάθμη 3 m πάνω από αντλία, απώλειες αναρρόφησης 0,6 m και $\rho \approx 965 \text{ kg/m}^3$: $NPSH_a \approx (101 - 70) \times 1000 / (965 \times 9,81) + 3 - 0,6 \approx 5,7 \text{ m}$. Αν ο κατασκευαστής απαιτεί NPSH_r 4,0 m, η αριθμητική διαφορά είναι 1,7 m, αλλά η αποδοχή απαιτεί το προβλεπόμενο περιθώριο σχεδιασμού και έλεγχο δυσμενέστερων συνθηκών.

Στον απαερωτή, η θερμοκρασία είναι συχνά κοντά στον κορεσμό για την πίεσή του. Γι' αυτό η γεωμετρική υψομετρική διαφορά, οι απώλειες και οι μεταβατικές καταστάσεις είναι κρίσιμες.

7. Αναρρόφηση, απαερωτής και σωληνώσεις

Καλή πρακτική αναρρόφησης

Χρησιμοποιούνται κατάλληλες διαμέτροι ώστε να περιορίζονται οι απώλειες, μικρές και ομαλές διαδρομές, επαρκές ύψος νερού, αποφυγή θυλάκων αέρα, σωστή στήριξη σωληνώσεων και κατάλληλη διαμόρφωση μειωτήρων. Φίλτρα που φράζουν αυξάνουν την απώλεια πίεσης και μπορούν να οδηγήσουν σε σπηλαίωση.

Απαερωτής και δοχείο

Ο απαερωτής μειώνει τα διαλυμένα αέρια και αποθηκεύει νερό τροφοδοσίας. Η πίεση και η θερμοκρασία του επηρεάζουν άμεσα τη διαθέσιμη αναρρόφηση. Η λειτουργία εξαερισμού, η στάθμη, η αναπλήρωση και η ποιότητα νερού είναι μέρος της αξιοπιστίας της αντλίας.

Θερμική διαστολή και φορτία ακροφυσίων

Οι θερμές σωληνώσεις διαστέλλονται. Τα φορτία από λανθασμένη στήριξη ή ευθυγράμμιση δεν πρέπει να μεταφέρονται στα στόμια της αντλίας. Προβλέπονται κατάλληλα στηρίγματα και έλεγχοι ευθυγράμμισης μετά τη θερμική σταθεροποίηση όπου απαιτείται.

8. Ηλεκτροκινητήρας, ισχύς και ενέργεια

Η υδραυλική ισχύς υπολογίζεται από $P_{hyd} = \rho g Q H$ με Q σε m^3/s . Η απαιτούμενη ισχύς άξονα είναι $P_{shaft} = P_{hyd} / \eta_{pump}$. Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου είναι περίπου $P_{el} = P_{shaft} / \eta_{motor}$, προσαρμοσμένη για απώλειες μετατροπεία όπου υπάρχει.

Υπολογισμός

Για $Q = 11 m^3/h = 0,003056 m^3/s$, $H = 122 m$ και $\rho = 958 kg/m^3$: $P_{hyd} \approx 3,51 kW$. Με απόδοση αντλίας 65%: $P_{shaft} \approx 5,40 kW$. Με απόδοση κινητήρα 90%: $P_{el} \approx 6,00 kW$. Για 6.000 ώρες ετήσιας λειτουργίας, κατανάλωση $\approx 36 MWh/έτος$ σε αυτό το σταθερό σημείο.

Η ονομαστική ισχύς κινητήρα πρέπει να ελέγχεται σε ολόκληρο το επιτρεπτό εύρος λειτουργίας και σε συνθήκες εκκίνησης. Το παραπάνω παράδειγμα δεν καθορίζει από μόνο του την εμπορική κλάση κινητήρα.

9. Έλεγχος στάθμης και inverter

On/off, αναλογικός έλεγχος και VFD

Σε απλό έλεγχο η αντλία ξεκινά/σταματά με βάση διακριτά όρια στάθμης. Σε αναλογικό έλεγχο ένας μεταδότης στάθμης οδηγεί βαλβίδα ή μετατροπέα συχνότητας (VFD) για ομαλότερη παροχή. Σε ατμολέβητες με έντονες μεταβολές φορτίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί έλεγχος τριών στοιχείων: στάθμη τυμπάνου, παροχή ατμού και παροχή νερού.

Ιδιαίτερη προσοχή στη φαινόμενη στάθμη

Η μεταβολή πίεσης και παραγωγής ατμού μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα swell/shrink: η ένδειξη στάθμης αλλάζει προσωρινά χωρίς αντίστοιχη μεταβολή συνολικής μάζας νερού. Για τον λόγο αυτό ο σχεδιασμός ρύθμισης και προστασίας δεν πρέπει να στηρίζεται σε απλουστευμένες παραδοχές.

Περιορισμοί inverter

Ο ελεγκτής πρέπει να τηρεί ελάχιστες στροφές που εξασφαλίζουν υπέρβαση της πίεσης λέβητα, ελάχιστη ροή, θερμική προστασία κινητήρα και ασφαλή απόκριση σε απώλεια σήματος. Ο VFD δεν αντικαθιστά αντεπίστροφη ή τις ανεξάρτητες προστασίες χαμηλής στάθμης.

10. Δύο αντλίες: κύρια και εφεδρική

Η διάταξη 1+1 (μία σε λειτουργία, μία εφεδρική) ενισχύει τη διαθεσιμότητα όταν κάθε αντλία μπορεί να καλύψει το απαιτούμενο φορτίο. Διαφέρει από διάταξη 2×50%, όπου η συνολική παροχή εξαρτάται από παράλληλη λειτουργία. Η ορολογία πρέπει να αποτυπώνεται στο P&ID και στις προδιαγραφές.

Ενδεικτική λογική εναλλαγής

Η κύρια αντλία λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες. Σε επιβεβαιωμένη βλάβη ή αδυναμία επίτευξης παροχής, ο αυτοματισμός μπορεί να ζητήσει εκκίνηση της εφεδρικής, εφόσον οι προϋποθέσεις εκκίνησης είναι ασφαλείς. Προβλέπονται χρονικές καθυστερήσεις, έλεγχος διαθέσιμης αναρρόφησης, επιτήρηση κινητήρα και συναγερμός προς χειριστή.

Δοκιμές εφεδρείας

Η εφεδρική αντλία πρέπει να δοκιμάζεται με τεκμηριωμένη διαδικασία, χωρίς να προκαλείται ανεπιθύμητη διαταραχή στάθμης. Ελέγχονται περιστροφή, πίεση, παροχή, θερμοκρασία, διαρροές και πραγματική μεταγωγή. Η αυτόματη εναλλαγή δεν πρέπει να κρύβει επαναλαμβανόμενες αστοχίες.

11. Βαλβίδες, όργανα και προστασίες

Διάταξη	Λειτουργία / κίνδυνος
Αντεπίστροφη κατάθλιψης	Αποτρέπει επιστροφή νερού και ανάστροφη περιστροφή.
Απομόνωση	Επιτρέπει ασφαλή συντήρηση μετά από αποπίεση/αποστράγγιση.
Ελάχιστη ανακυκλοφορία	Διασφαλίζει την απαιτούμενη ελάχιστη ροή όταν η τροφοδοσία λέβητα μειώνεται.
Μανόμετρα / μεταδότες	Επιτρέπουν επιτήρηση αναρρόφησης και κατάθλιψης.
Προστασία κινητήρα	Υπερφόρτιση, απώλεια φάσης και άλλες ηλεκτρικές ανωμαλίες.
Προστασία χαμηλής στάθμης δοχείου	Αποτρέπει λειτουργία χωρίς επαρκή αναρρόφηση.

Η γραμμή ελάχιστης παροχής δεν είναι απλή παράκαμψη που μπορεί να κλείσει αυθαίρετα. Η απαιτούμενη παροχή καθορίζεται από τα δεδομένα της αντλίας και τις θερμικές/υδραυλικές συνθήκες. Απαιτείται σωστός σχεδιασμός της επιστροφής στο δοχείο.

12. Θέση σε λειτουργία και καθημερινοί έλεγχοι

Πριν από την πρώτη εκκίνηση

Επαλήθευση ολοκλήρωσης εγκατάστασης, σωστών υλικών, υδροστατικών/στεγανωτικών δοκιμών όπου απαιτούνται, καθαρότητας σωληνώσεων, φοράς περιστροφής, ευθυγράμμισης, λίπανσης, πλήρωσης/εξαέρωσης αντλίας, κατάστασης οργάνων και ετοιμότητας προστασιών. Η δοκιμή περιστροφής γίνεται σύμφωνα με τη διαδικασία του κατασκευαστή.

Κατά την εκκίνηση

Καταγράφονται πίεση αναρρόφησης, πίεση κατάθλιψης, παροχή, ρεύμα, συχνότητα, κραδασμοί, θερμοκρασίες εδράνων και διαρροές. Επιβεβαιώνεται ότι η αντλία δεν λειτουργεί σε μη αποδεκτή περιοχή της καμπύλης. Ο τρόπος χειρισμού της βαλβίδας κατάθλιψης εξαρτάται από τον τύπο αντλίας και τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Καθημερινός έλεγχος

Ο χειριστής συγκρίνει τις τρέχουσες ενδείξεις με ιστορικά όρια βάσης, όχι μόνο με γενικές ονομαστικές τιμές. Αλλαγή ήχου, απότομη αύξηση κραδασμών, πτώση αναρρόφησης, συχνή εναλλαγή αντλιών ή επαναλαμβανόμενα alarms απαιτούν διερεύνηση.

13. Συντήρηση και αξιοπιστία

Προληπτική και προβλεπτική συντήρηση

Πρόγραμμα συντήρησης βάσει ωρών, κρίσιμότητας, κατασκευαστή και πραγματικής κατάστασης. Ελέγχονται μηχανικός στυπιοθλίπτης, διαρροές, λίπανση, ρουλεμάν, ευθυγράμμιση, σύνδεσμος, θεμελίωση, φίλτρα, ηλεκτρικές συνδέσεις, ποιότητα τροφοδοτικού νερού και ιστορικό σφαλμάτων inverter.

Συχνότητα (ενδεικτική)	Έλεγχος
Ανά βάρδια	Πίεση, παροχή, θερμοκρασίες, ήχος, διαρροές, alarms.
Εβδομαδιαία	Σύγκριση τάσεων, δοκιμή εφεδρικής όπου επιτρέπεται.
Μηνιαία	Καταγραφή κραδασμών, επιθεώρηση στηρίξεων και φίλτρων.
Κατά πρόγραμμα OEM	Λίπανση, έδρανα, στυπιοθλίπτες, ευθυγράμμιση, ηλεκτρικοί έλεγχοι.

Οι συχνότητες είναι παραδείγματα και όχι δεσμευτικά διαστήματα. Πριν από επέμβαση εφαρμόζονται απομόνωση ηλεκτρικής ενέργειας, αποπίεση, ψύξη, αποστράγγιση και κατάλληλη διαδικασία lockout/tagout.

14. Διάγνωση βλαβών

Σύμπτωμα	Πιθανές αιτίες	Πρώτοι ασφαλείς έλεγχοι
Μικρή/μηδενική παροχή	Αέρας, αντίστροφη φορά, φραγμένη αναρρόφηση, χαμηλές στροφές	Ενδείξεις πίεσης, στάθμη, θέση βαλβίδων, alarms VFD.
Έντονος θόρυβος	Σπηλαίωση, αέρας, φθορά εδράνων	Πίεση αναρρόφησης, θερμοκρασία, τάση κραδασμών.
Υψηλό ρεύμα	Λανθασμένο σημείο λειτουργίας, μηχανική τριβή	Παροχή, συχνότητα, σύγκριση με καμπύλη και στοιχεία κινητήρα.
Διαρροή στυπιοθλίπτη	Φθορά, θερμικό σοκ, λανθασμένη εγκατάσταση	Ασφαλής απομόνωση και επιθεώρηση σύμφωνα με OEM.
Συχνές εκκινήσεις	Ασταθής έλεγχος στάθμης, λανθασμένα όρια	Ιστορικό στάθμης, χρονισμοί, σήματα αισθητήρων.
Δεν ξεκινά εφεδρική	Interlock, ηλεκτρική βλάβη, μη διαθεσιμότητα	Καταγραφή σφαλμάτων, κατάσταση προστασιών.

Σε έντονη σπηλαίωση, ασυνήθιστους κραδασμούς ή διαρροή θερμού νερού ακολουθείται η εγκεκριμένη διαδικασία ασφαλούς διακοπής. Δεν επιχειρείται άνοιγμα φλαντζών υπό πίεση.

15. Πλήρες παράδειγμα επιλογής

Δεδομένα μελέτης

Παράμετρος	Τιμή
Ατμοπαραγωγή	10.000 kg/h
Απομάστευση	5% της τροφοδοσίας
Θερμοκρασία νερού	~100 °C ($\rho \approx 958 \text{ kg/m}^3$)
Πίεση λέβητα	10 barg
Διαφορά στάθμης	4 m
Απώλειες σωληνώσεων/βαλβίδων	12 m
Απόδοση αντλίας / κινητήρα	65% / 90%

Βήμα 1 - Παροχή

$\dot{m} = 10.000 / (1 - 0,05) = 10.526 \text{ kg/h}$, άρα $Q = 10,99 \text{ m}^3/\text{h}$.

Βήμα 2 - Μανομετρικό

$H = 1.000.000 / (958 \times 9,81) + 4 + 12 \approx 122,4 \text{ m}$.

Βήμα 3 - Ισχύς

$P_{\text{hyd}} = 958 \times 9,81 \times (10,99 / 3600) \times 122,4 \approx 3,52 \text{ kW}$. $P_{\text{shaft}} \approx 5,42 \text{ kW}$ και $P_{\text{el}} \approx 6,02 \text{ kW}$.

Βήμα 4 - Έλεγχος καταλληλότητας

Αναζητείται πραγματική καμπύλη αντλίας που καλύπτει $Q \approx 11 \text{ m}^3/\text{h}$ σε $H \approx 122 \text{ m}$, με κατάλληλο περιθώριο NPSH, ισχύ κινητήρα για όλο το εύρος, υλικά κατάλληλα για θερμοκρασία/ποιότητα νερού, ελάχιστη παροχή και αποδεκτή περιοχή λειτουργίας. Το παράδειγμα δεν καθορίζει μοντέλο αντλίας.

16. Τεχνικά φύλλα και λίστες ελέγχου

Φύλλο καταγραφής λειτουργίας

Ωρα	Αντλία	Q m ³ /h	P αναρ. bar	P κατάθ. bar	Hz	A	Σημειώσεις
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—

Checklist επιλογής

- ☐ Ορισμός μέγιστης και ελάχιστης παροχής νερού
- ☐ Καταγραφή πίεσης λέβητα και πιέσεων αναρρόφησης
- ☐ Υπολογισμός τριβών και υψομετρικής διαφοράς
- ☐ Υπολογισμός NPSHa στη δυσμενέστερη κατάσταση
- ☐ Έλεγχος NPSHr, BEP, επιτρεπόμενης περιοχής λειτουργίας
- ☐ Έλεγχος ισχύος κινητήρα και θερμοκρασιακής καταλληλότητας
- ☐ Επιλογή ελάχιστης ανακυκλοφορίας και αντεπίστροφης
- ☐ Ορισμός φιλοσοφίας κύριας/εφεδρικής και δοκιμών
- ☐ Τεκμηρίωση alarms, interlocks και ασφαλούς απομόνωσης

17. Βασικά πρότυπα και βιβλιογραφία

Για τελική μηχανολογική μελέτη και αποδοχή εξοπλισμού απαιτείται αναφορά στις ισχύουσες εκδόσεις των εφαρμοστέων προτύπων και στις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Ενδεικτικές τεχνικές αναφορές:

- ISO 9906 — Rotodynamic pumps: hydraulic performance acceptance tests.
- ISO 5199 — Technical specifications for centrifugal pumps, Class II (όπου εφαρμόζεται).
- ISO 20816 — Mechanical vibration: measurement and evaluation of machine vibration (εφαρμοστέα μέρη).
- IEC 60034 — Rotating electrical machines (εφαρμοστέα μέρη).
- EN 12952 / EN 12953 — Water-tube boilers / Shell boilers, αντίστοιχα, όπου εφαρμόζονται.
- Hydraulic Institute — κατευθυντήριες οδηγίες για αντλίες, NPSH και περιοχές λειτουργίας.
- Τεχνικά εγχειρίδια του συγκεκριμένου κατασκευαστή αντλίας, στυπιοθλίπτη και VFD.

Τελική σημείωση

Οι τιμές και τα σενάρια είναι εκπαιδευτικά. Οι πιέσεις και θερμοκρασίες ατμολεβητοστασίων δημιουργούν κινδύνους σοβαρού τραυματισμού. Όλες οι επεμβάσεις γίνονται από κατάλληλα εκπαιδευμένο και εξουσιοδοτημένο προσωπικό με εγκεκριμένες διαδικασίες.

Thermosphere · Τεχνική Βιβλιοθήκη · Τόμος 04