

Thermosphere

TECHNICAL LIBRARY / ΤΟΜΟΣ 01

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ & ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ

Επαγγελματικός Τεχνικός Οδηγός



Θερμοδυναμική • Καύση • Ασφάλεια
Συντήρηση • Διαγνωστική • Υπολογισμοί

Έκδοση 1.0 • Οκτώβριος 2026

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ & ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ

Επαγγελματικός τεχνικός οδηγός | Τεχνική βιβλιοθήκη • Τόμος 01

Έκδοση 1.0 • Οκτώβριος 2026

Θεωρία • Θερμοδυναμικοί υπολογισμοί • Καύση • Ασφάλεια • Συντήρηση • Ενεργειακή απόδοση

Εκπαιδευτική και τεχνική αναφορά. Δεν υποκαθιστά εγχειρίδιο κατασκευαστή, εγκεκριμένη μελέτη, νομοθετική συμμόρφωση ή οδηγίες αδειούχου τεχνικού.

Περιεχόμενα και χρήση

01. Πεδίο εφαρμογής και ορολογία
02. Κατασκευή και είδη λεβήτων
03. Βασική θερμοδυναμική του ατμού
04. Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας
05. Καυστήρες και έλεγχος καύσης
06. Απόδοση λέβητα και απώλειες
07. Νερό τροφοδοσίας και στρατσώνα
08. Δίκτυο ατμού και συμπυκνώματα
09. Όργανα, αυτοματισμοί και ασφάλεια
10. Εκκίνηση, λειτουργία και παύση
11. Επιθεώρηση και προληπτική συντήρηση
12. Βλάβες και διαγνωστική προσέγγιση
13. Βελτιστοποίηση και KPI
14. Λυμένα παραδείγματα
15. Πίνακες, έλεγχοι και βιβλιογραφία

Σημειογραφία: bar(a) = απόλυτη πίεση, bar(g) = σχετική πίεση. kW = kJ/s. 1 MWh = 1.000 kWh. Οι ενθαλπίες εξαρτώνται από την κατάσταση και την πίεση του ρευστού.

01 | Πεδίο εφαρμογής και ορολογία

Τι είναι ο ατμολέβητας

Ο ατμολέβητας μεταφέρει θερμότητα από καύση ή άλλη πηγή στο νερό για παραγωγή ατμού υπό καθορισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Το σύστημα περιλαμβάνει το σώμα του λέβητα, καυστήρα, τροφοδοσία νερού, διατάξεις ασφαλείας, απαγωγή καυσαερίων και έλεγχο λειτουργίας.

Ο κορεσμένος ατμός βρίσκεται στη θερμοκρασία κορεσμού της πίεσής του. Ο υπέρθερμος ατμός έχει θερμοκρασία υψηλότερη από την αντίστοιχη θερμοκρασία κορεσμού.

Κρίσιμες διακρίσεις

Η ονομαστική παραγωγή σε kg/h ή t/h δεν ταυτίζεται με τη θερμική ισχύ σε kW. Η πίεση λειτουργίας δεν ταυτίζεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση (PS). Η θερμοκρασία κορεσμού πρέπει να προσδιορίζεται με απόλυτη πίεση.

Η επιλογή, η κατασκευή και οι επεμβάσεις σε εξοπλισμό υπό πίεση απαιτούν κατάλληλη τεχνική τεκμηρίωση και συμμόρφωση με το ισχύον πλαίσιο.

02 | Κατασκευή και είδη λεβήτων

Φλογοσωληνωτοί και υδροσωληνωτοί

Στον φλογοσωληνωτό λέβητα τα θερμά καυσαέρια ρέουν μέσα σε σωλήνες που περιβάλλονται από νερό. Στον υδροσωληνωτό το νερό/μίγμα νερού-ατμού κυκλοφορεί εντός σωλήνων που θερμαίνονται εξωτερικά.

Η επιλογή εξαρτάται από απαιτούμενη παραγωγή, πίεση, δυναμική φορτίου, ποιότητα νερού, διαθέσιμο χώρο και προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Βασικά μέρη

Κέλυφος ή τύμπανα, εστία καύσης, αυλοί/σωλήνες, υδροθάλαμος, ατμοθάλαμος, μόνωση, καπνοθάλαμος, καπνοδόχος, οικονομιστής όπου υπάρχει, όργανα στάθμης, τροφοδοτικές αντλίες και διατάξεις εκτόνωσης.

Η αναγνώριση εξαρτημάτων γίνεται πάντα από εγκεκριμένα σχέδια P&ID και τεχνικό φάκελο της συγκεκριμένης εγκατάστασης.

03 | Βασική θερμοδυναμική του ατμού

Ενθαλπία και λανθάνουσα θερμότητα

Η ειδική ενθαλπία h εκφράζει ενέργεια ανά μονάδα μάζας (kJ/kg). Για θέρμανση νερού έως κορεσμό απαιτείται αισθητή θερμότητα, ενώ κατά την εξάτμιση προστίθεται λανθάνουσα θερμότητα.

Για υγρό κορεσμού χρησιμοποιείται h_f , για ξηρό κορεσμένο ατμό h_g και για λανθάνουσα θερμότητα $h_{fg} = h_g - h_f$. Για υγρό ατμό με βαθμό ξηρότητας x : $h = h_f + x \cdot h_{fg}$.

Πίεση και πίνακες

Η πίεση σε bar(g) μετατρέπεται προσεγγιστικά σε bar(a) προσθέτοντας την τοπική ατμοσφαιρική πίεση (περίπου 1,013 bar στη στάθμη θάλασσας). Οι ιδιότητες αντλούνται από επαληθευμένους πίνακες ατμού IAPWS-IF97 ή κατάλληλο λογισμικό.

Προσοχή: δεν είναι τεχνικά ορθό να υπολογίζεται η ενέργεια του ατμού μόνο από την πίεση χωρίς ενθαλπία τροφοδοσίας και κατάσταση ατμού.

04 | Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας

Θερμική ισχύς ατμοπαραγωγής

Για σταθερή λειτουργία και αμελητέες μεταβολές κινητικής/δυναμικής ενέργειας: $Q_{\text{steam}} = \dot{m}_s \cdot (h_s - h_{fw})$, όπου $\dot{m}_s$ σε kg/s και h σε kJ/kg. Το αποτέλεσμα είναι kW.

Εάν η παροχή δίνεται σε kg/h: $Q_{\text{steam}} [\text{kW}] = \dot{m}_s [\text{kg/h}] \times \Delta h [\text{kJ/kg}] / 3600$. Για ενέργεια σε περίοδο: $E [\text{kWh}] = \int Q \, dt$.

Ισοζύγιο νερού

Σε απλοποιημένο μόνιμο ισοζύγιο: $\dot{m}_{\text{makeup}} + \dot{m}_{\text{condensate}} = \dot{m}_{\text{steam}} + \dot{m}_{\text{blowdown}}$, με κατάλληλη προσοχή στις θέσεις μέτρησης και σε πρόσθετες απώλειες.

Η επιστροφή συμπυκνωμάτων μειώνει την απαιτούμενη αναπλήρωση και συχνά τη θερμότητα προθέρμανσης. Οι απώλειες από διαρροές και εξαerώσεις πρέπει να καταγράφονται χωριστά.

05 | Καυστήρες και έλεγχος καύσης

Αρχές καύσης

Ο καυστήρας αναμειγνύει καύσιμο και αέρα υπό ελεγχόμενες συνθήκες για σταθερή φλόγα. Η αναλογία αέρα/καυσίμου, η ποιότητα ανάμειξης και ο έλεγχος φλόγας επηρεάζουν απόδοση και εκπομπές.

Η περίσσεια αέρα μπορεί να μειώνει τον κίνδυνο ατελούς καύσης αλλά υπερβολική περίσσεια αυξάνει τις απώλειες καυσαερίων. Δεν υπάρχει καθολική ιδανική ρύθμιση O_2 για όλους τους καυστήρες.

Διαμόρφωση ισχύος και ασφάλεια

Συστήματα on/off, δύο βαθμίδων ή αναλογικής ρύθμισης προσαρμόζουν την ισχύ στο φορτίο. Η ακολουθία προαερισμού, επιβεβαίωσης ασφαλών συνθηκών, ανάφλεξης και επιτήρησης φλόγας καθορίζεται από τον εγκεκριμένο αυτοματισμό καυστήρα.

Δεν παρακάμπουμε επιτηρητές φλόγας, πιεζοστάτες, διακόπτες ροής αέρα ή αλληλομανδαλώσεις. Ρυθμίσεις καύσης γίνονται από αρμόδιο προσωπικό με πιστοποιημένα όργανα και οδηγίες κατασκευαστή.

06 | Απόδοση λέβητα και απώλειες

Άμεση μέθοδος

$\eta_{\text{boiler}} = Q_{\text{steam}} / Q_{\text{fuel}}$, όπου $Q_{\text{fuel}} = \dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{LHV}$ (με συνεπείς μονάδες). Δηλώστε ρητά αν η απόδοση βασίζεται στην κατώτερη (LHV) ή ανώτερη (HHV) θερμογόνο δύναμη.

Η συνολική αποδοτικότητα της εγκατάστασης είναι διαφορετική από την απόδοση του σώματος λέβητα: περιλαμβάνει δίκτυα, συμπυκνώματα, στρατσώνα και βοηθητικές καταναλώσεις.

Κύριες απώλειες

Θερμά καυσαέρια, ακτινοβολία/συναγωγή, ατελής καύση, στρατσώνα και απώλειες εκκίνησης/αναμονής. Ο οικονομιστής μπορεί να ανακτά θερμότητα καυσαερίων, υπό την προϋπόθεση κατάλληλου σχεδιασμού για συμπύκνωση και διάβρωση.

07 | Νερό τροφοδοσίας και στρατσώνα

Ποιότητα νερού

Σκληρότητα, διαλυμένο οξυγόνο, pH, αγωγιμότητα, πυριτικά και διαλυμένα στερεά επηρεάζουν επικαθίσεις, διάβρωση, αφρισμό και μεταφορά σταγονιδίων. Τα όρια δεν είναι ενιαία: εξαρτώνται από πίεση, σχεδιασμό λέβητα και οδηγίες κατασκευαστή/προγράμματος χημικής επεξεργασίας.

Στρατσώνα (blowdown)

Η στρατσώνα απομακρύνει μέρος των διαλυμένων στερεών αλλά απορρίπτει θερμό νερό. Για απλοποιημένο ισοζύγιο μη πτητικών στερεών, χωρίς άλλες εισροές/απομακρύνσεις: $B/F \approx C_f/C_b$, όπου F τροφοδοσία, B στρατσώνα, C_f και C_b συγκεντρώσεις.

Η αγωγιμότητα χρησιμοποιείται συχνά ως έμμεσος δείκτης αλλά η αναλογία αγωγιμοτήτων δεν είναι καθολικά ακριβές ισοζύγιο κάθε συστατικού. Θερμή στρατσώνα απαιτεί κατάλληλη εκτόνωση και ασφαλή διάθεση.

08 | Δίκτυο ατμού και συμπυκνώματα

Διανομή

Η σωστή διαστασιολόγηση σωληνώσεων απαιτεί έλεγχο παροχής, πίεσης, επιτρεπόμενης ταχύτητας, πτώσης πίεσης, ποιότητας ατμού και διαστολών. Η μόνωση περιορίζει απώλειες και μειώνει κινδύνους επαφής.

Ατμοπαγίδες και επιστροφή

Οι ατμοπαγίδες απομακρύνουν συμπυκνώματα και μη συμπυκνώσιμα αέρια με περιορισμό απωλειών ζωντανού ατμού. Η επιλογή εξαρτάται από εφαρμογή, διαφορική πίεση και συνθήκες λειτουργίας.

Αστοχίες ανοικτής ατμοπαγίδας προκαλούν απώλειες ατμού· αστοχίες κλειστής οδηγούν σε συσσώρευση συμπυκνωμάτων. Το υδραυλικό πλήγμα είναι σοβαρός κίνδυνος και απαιτεί κατάλληλο σχεδιασμό και διαδικασίες.

09 | Όργανα, αυτοματισμοί και ασφάλεια

Ανεξάρτητες προσαπίες

Βασικές προσαπίες μπορεί να περιλαμβάνουν ασφαλιστικές βαλβίδες, επιτηρητές χαμηλής στάθμης, επιτήρηση πίεσης, έλεγχο φλόγας, διακοπές καυσίμου και επείγουσα παύση. Η πραγματική αρχιτεκτονική προκύπτει από τη μελέτη κινδύνου και τα εφαρμοστέα πρότυπα.

Η κανονική ρύθμιση στάθμης δεν υποκαθιστά ανεξάρτητη προσαπία χαμηλής στάθμης. Κάθε επέμβαση σε διατάξεις ασφαλείας πρέπει να τεκμηριώνεται και να εκτελείται από αρμόδιο προσωπικό.

Πλαίσιο συμμόρφωσης

Για εγκαταστάσεις στην ΕΕ, εξετάζονται κατά περίπτωση η Οδηγία Εξοπλισμού υπό Πίεση 2014/68/ΕΕ, σχετικά εναρμονισμένα πρότυπα όπως EN 12953 / EN 12952 και οι εθνικές απαιτήσεις εγκατάστασης, επιθεώρησης και λειτουργίας.

Η αναφορά σε πρότυπο δεν πιστοποιεί συμμόρφωση συγκεκριμένου λέβητα. Απαιτείται έλεγχος ισχύουσας έκδοσης και πεδίου εφαρμογής.

10 | Εκκίνηση, λειτουργία και παύση

Αρχές ασφαλούς λειτουργίας

Πριν από κάθε εκκίνηση απαιτούνται οι προβλεπόμενοι έλεγχοι από τον κατασκευαστή και την εγκεκριμένη διαδικασία του χώρου, συμπεριλαμβανομένης επάρκειας νερού, κατάστασης προστασιών και επιβεβαίωσης ασφαλούς διαδρομής καυσίμου/καυσαερίων.

Η εκκίνηση και η παύση δεν πρέπει να βασίζονται σε γενικό εγχειρίδιο: οι ακολουθίες διαφέρουν σημαντικά ανά εγκατάσταση και BMS. Ακολουθούνται οι εγκεκριμένες SOP και τα διαγράμματα αλληλομανδαλώσεων.

Αντιμετώπιση συναγερμών

Σε συναγερμό χαμηλής στάθμης, απώλειας φλόγας, υπερπίεσης ή ύποπτης διαρροής εφαρμόζεται η διαδικασία ασφαλούς παύσης και απομόνωσης. Απαγορεύεται η τυφλή επαναφορά χωρίς διάγνωση αιτίας.

Σε πιθανή υπερθέρμανση λόγω έλλειψης νερού δεν προστίθεται αυθαίρετα νερό σε θερμό λέβητα· απαιτείται διαδικασία κατασκευαστή και αξιολόγηση εξουσιοδοτημένου προσωπικού.

11 | Επιθεώρηση και συντήρηση

Πρόγραμμα επιθεωρήσεων

Το πρόγραμμα πρέπει να συνδέεται με ώρες λειτουργίας, κύκλους εκκίνησης, ιστορικό βλαβών, ποιότητα νερού και νομοθετικές υποχρεώσεις. Η συχνότητα καθορίζεται από κατασκευαστή, εκτίμηση κινδύνου και αρμόδιο φορέα.

Ενδεικτικά αντικείμενα: τάσεις πίεσης/στάθμης, έλεγχος ποιότητας νερού, διαρροές, μόνωση, απόδοση καύσης, λειτουργία ατμοπαγίδων, κατάσταση καυστήρα, σωλήνων και ηλεκτρικών συνδέσεων.

Ασφαλής εργασία

Εργασίες απαιτούν απομόνωση ενέργειας (LOTO), επιβεβαίωση αποσυμπίεσης, ψύξη, κατάλληλες άδειες εργασίας και μέτρα για περιορισμένους χώρους όπου εφαρμόζεται. Η εσωτερική επιθεώρηση γίνεται μόνο από εξουσιοδοτημένους επαγγελματίες.

12 | Βλάβες και διαγνωστική προσέγγιση

Αποκλίσεις λειτουργίας

Πτώση πίεσης μπορεί να σχετίζεται με υπερβολική ζήτηση, περιορισμό παροχής καυσίμου, δυσλειτουργία καυστήρα ή απώλειες δικτύου. Η αύξηση θερμοκρασίας καυσαερίων μπορεί να σχετίζεται με ρύπανση επιφανειών, αλλαγή φορτίου ή συνθήκες καύσης.

Η αιτία δεν επιβεβαιώνεται από ένα μόνο όργανο: απαιτείται έλεγχος βαθμονόμησης, τάσεων SCADA, ορίων σχεδιασμού και συσχέτιση με άλλες μετρήσεις.

Συστηματική διάγνωση

Καταγράψτε χρονική στιγμή, φορτίο, πίεση, στάθμη, θερμοκρασία καυσαερίων, O₂/CO όπου υπάρχουν, παροχή καυσίμου, ποιότητα νερού και ενεργούς συναγερμούς. Συγκρίνετε με ασφαλή κατάσταση αναφοράς.

Οι παρεμβάσεις γίνονται μόνο εντός εγκεκριμένων διαδικασιών και ποτέ με παράκαμψη προστασιών.

13 | Βελτιστοποίηση και KPI

Δείκτες απόδοσης

Ειδική κατανάλωση καυσίμου ανά τόνο ατμού, απόδοση λέβητα με σαφή βάση LHV/HHV, ποσοστό επιστροφής συμπυκνωμάτων, λόγος στρατσώνας, θερμοκρασία καυσαερίων και ώρες λειτουργίας σε χαμηλό φορτίο.

Η σύγκριση KPI πρέπει να κανονικοποιείται για πίεση ατμού, θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας, ποιότητα ατμού και μεταβολές φορτίου.

Προτεραιότητες έργων

Πρώτα επαληθεύστε όργανα και ισοζύγια. Έπειτα αξιολογήστε επιστροφή συμπυκνωμάτων, μόνωση, ατμοπαγίδες, στρατσώνα, ρύθμιση καύσης και οικονομιστή.

Για κάθε μέτρο υπολογίστε επένδυση, εξοικονόμηση kWh/έτος, πραγματική τιμή καυσίμου, λειτουργικό κόστος, χρόνο απόσβεσης και αβεβαιότητα δεδομένων.

14 | Λυμένα παραδείγματα

Παράδειγμα Α — Θερμική ισχύς ατμού

Δεδομένα: παραγωγή 10.000 kg/h, ενθαλπία παραγόμενου ατμού 2.780 kJ/kg, ενθαλπία νερού τροφοδοσίας 420 kJ/kg. Οι ενθαλπίες είναι ενδεικτικές παραδοχές άσκησης και όχι τιμές για αυθαίρετη πίεση.

$\Delta h = 2.780 - 420 = 2.360 \text{ kJ/kg}$. $Q = 10.000 \times 2.360 / 3.600 = 6.555,56 \text{ kW} = 6,556 \text{ MW}$. Σε 8 ώρες σταθερής λειτουργίας: $E = 52.444,44 \text{ kWh} = 52,444 \text{ MWh}$.

Παράδειγμα Β — Θερμική εισροή καυσίμου

Εάν η απόδοση του λέβητα στην ίδια βάση LHV είναι 90%, η απαιτούμενη ισχύς καυσίμου είναι $6.555,56 / 0,90 = 7.283,95 \text{ kW}$.

Για καύσιμο με LHV 10 kWh ανά Nm^3 , θεωρητική παροχή καυσίμου στο παράδειγμα = 728,40 Nm^3/h .

Η τιμή LHV είναι υπόθεση άσκησης: στην πράξη χρησιμοποιούνται τα πραγματικά δεδομένα ποιότητας αερίου και οι ορισμοί κανονικών συνθηκών.

Παράδειγμα Γ — Αναπλήρωση και στρατσώνα

Παραγωγή ατμού 10.000 kg/h, στρατσώνα 300 kg/h και επιστροφή συμπυκνωμάτων 7.000 kg/h. Από ισοζύγιο μάζας, αναπλήρωση = $10.000 + 300 - 7.000 = 3.300 \text{ kg/h}$.

Ο λόγος στρατσώνας ως προς την τροφοδοσία είναι $300/10.300 = 2,91\%$. Η πραγματική κατανάλωση νερού μπορεί να διαφέρει εάν υπάρχουν εξαερώσεις, διαρροές ή άλλες ροές εκτός ορίων του ισοζυγίου.

15 | Γρήγοροι πίνακες και φύλλο ελέγχου

Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδα
Παροχή ατμού	$\dot{m}_s$	kg/h ή kg/s
Ειδική ενθαλπία	h	kJ/kg
Θερμική ισχύς	Q	kW
Ενέργεια	E	kWh / MWh
Πίεση απόλυτη	p_{abs}	bar(a)
Πίεση σχετική	p_g	bar(g)
Απόδοση	η	%

Ελάχιστα στοιχεία για αξιόπιστο ενεργειακό ισοζύγιο

- Παροχή ατμού, πίεση και θερμοκρασία/ξηρότητα
- Παροχή και θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας
- Παροχή και LHV/HHV καυσίμου, με κοινή βάση
- Στρατσώνα, επιστροφή συμπυκνωμάτων, αναπλήρωση
- Θερμοκρασία καυσαερίων, O_2/CO όπου προβλέπεται
- Χρόνος λειτουργίας, φορτίο, αβεβαιότητα μετρήσεων

Βιβλιογραφία και κανονιστικές πηγές για επαλήθευση

- IAPWS, Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IF97), ισχύουσες αναθεωρήσεις.
- European Union, Directive 2014/68/EU on Pressure Equipment (PED).
- EN 12953, Shell Boilers — σειρά προτύπων, ισχύουσες εκδόσεις.
- EN 12952, Water-tube Boilers and Auxiliary Installations — σειρά προτύπων, ισχύουσες εκδόσεις.
- Spirax Sarco, Steam Engineering Tutorials, ενότητες steam fundamentals, condensate recovery, steam traps.
- U.S. Department of Energy, Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry.
- Bosch Industrial Heat, τεχνική τεκμηρίωση βιομηχανικών λεβήτων και συστημάτων ατμού.

Σημείωση τεκμηρίωσης: Οι παραπάνω πηγές αναφέρονται για επαλήθευση και περαιτέρω μελέτη. Δεν δηλώνεται ότι έχει διενεργηθεί ανεξάρτητος έλεγχος της ισχύουσας έκδοσης κάθε προτύπου ή πιστοποίηση των αριθμητικών παραδειγμάτων.