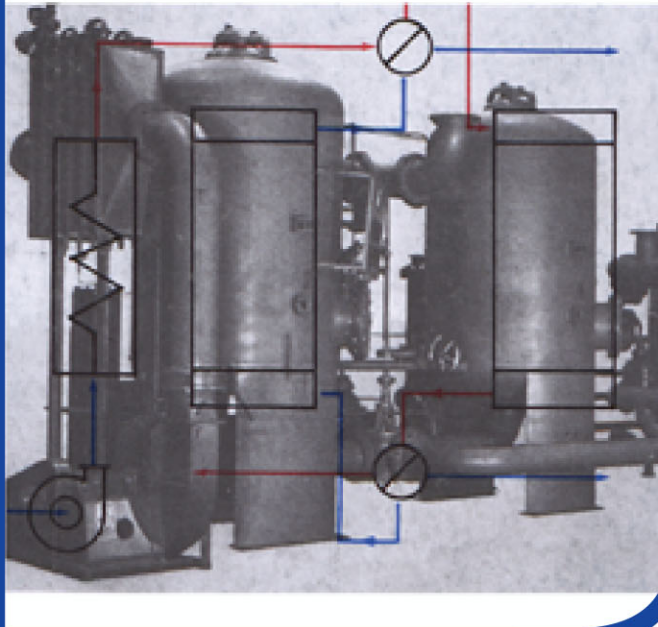




ΧΗΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Κωνστ. Α. Καγκάρκη

ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝ.-ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.





1954



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς προέβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγων για την πρόοδο του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Από το 1956 έως σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Σχολών και Λυκείων.

Μέχρι σήμερα, με τη συνεργασία με τα Υπουργεία Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και Εμπορικής Ναυτιλίας, εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια αντίτυπα. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η συγγραφή και έκδοση βιβλίων ποιότητας, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και ως προς την εμφάνιση, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους μαθητές.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική αρτιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση συμπληρούμενα καταλλήλως.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στη γλωσσική διατύπωση των βιβλίων, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα σωστή και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική κατάρτιση των μαθητών.

Έτσι, με απόφαση που ίσχυσε ήδη από το 1956, όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις τότε Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική, με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων ανατίθεται σε φιλόλογους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα, η καλαισθητή σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος και συμβάλλουν στη σωστή «λειτουργικότητα» των βιβλίων.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέσει στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα πάντοτε με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι. και του ΥΠΕΠΘ.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.

Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ.

Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ. Α. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρέακος**.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακρδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, **Άγγελος Καλογεράς** (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, **Δημήτριος Νιόνις** (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, **Μιχαήλ Σπετσιέρης** (1956-1959), **Νικόλαος Βασιώτης** (1960-1967), **Θεόδωρος Κουζέλης** (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, **Παναγιώτης Χατζηγιάννου** (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, **Αλέξανδρος Ι. Παππάς** (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, **Χρυσόστομος Καβουνίδης** (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, **Γεώργιος Ρούσσος** (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, **Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδосίου** (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, **Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου** (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, **Γεώργιος Σταματίου** (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ, **Σωτ. Γκλαβάς** (1989-1993), Φιλολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ΥΠΕΠΘ.



ΧΗΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΚΩΝΣΤ. Α. ΚΑΓΚΑΡΑΚΗ

ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ
1997



Α' ΕΚΔΟΣΗ 1979

Β' ΕΚΔΟΣΗ 1985

Σκοπός του μαθήματος της Χημικής Τεχνολογίας είναι η εισαγωγή των μαθητών του τμήματος Χημικών Τεχνικών Λυκείων σε μία καινούργια περιοχή γνώσεων, ιδιαίτερα χρήσιμων για τη μελλοντική επαγγελματική τους απασχόληση στη χημική βιομηχανία.

Ο μαθητής έχει ως τώρα γνωρίσει τις χημικές αντιδράσεις και τις φυσικές μεταβολές των σωμάτων από θεωρητικές μόνο εξισώσεις και σχέσεις ή από εργαστηριακές ασκήσεις. Είναι όμως ακόμη ανύποπτος για τα προβλήματα που προκύπτουν, όταν τα φαινόμενα αυτά μεταφερθούν σε βιομηχανική εφαρμογή. Στο μάθημα της Χημικής Τεχνολογίας θα εξοικειωθεί βαθμιαία με τη μεγάλη σημασία εννοιών, που συνδέονται στενά με τη βιομηχανική δραστηριότητα, όπως η ποιότητα των προϊόντων, το κόστος της παραγωγής, η εξοικονόμηση των υλικών και της ενέργειας, η απόδοση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, η συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα στη λειτουργία του εργοστασίου, η αξία της πρακτικής εμπειρίας.

Σύμφωνα με το αντίστοιχο αναλυτικό πρόγραμμα του ΚΕΜΕ, στα τέσσερα πρώτα κεφάλαια του βιβλίου αναπτύσσονται οι γενικές μέθοδοι, που ακολουθεί η χημική βιομηχανία για την πραγματοποίηση του κεντρικού της στόχου, δηλαδή την παραγωγή προϊόντων στην καλύτερη δυνατή ποιότητα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Στα υπόλοιπα κεφάλαια περιγράφονται με συστηματικό τρόπο οι κυριότερες φυσικές διεργασίες, που εφαρμόζονται στην επίδιωξη του παραπάνω στόχου και οι βιομηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή τους.

Σύμφωνα με το αντίστοιχο αναλυτικό πρόγραμμα του μαθήματος, στα τέσσερα πρώτα κεφάλαια του βιβλίου αναπτύσσονται οι γενικές μέθοδοι, που ακολουθεί η χημική βιομηχανία για την πραγματοποίηση του κεντρικού της στόχου, δηλαδή την παραγωγή προϊόντων στην καλύτερη δυνατή ποιότητα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Στα υπόλοιπα κεφάλαια περιγράφονται με συστηματικό τρόπο οι κυριότερες φυσικές διεργασίες, που εφαρμόζονται στην επίδιωξη του παραπάνω στόχου και οι βιομηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή τους.

Οι αριθμητικές ασκήσεις, που συνοδεύουν τα κεφάλαια αυτά, είναι ανάλογες με ορισμένα από τα απλούστερα και συνηθέστερα κατασκευαστικά και λειτουργικά προβλήματα της χημικής βιομηχανίας. Η λύση τους επιχειρείται με τη βοήθεια ομοίων μεθόδων, όπως εκείνες που εφαρμόζονται στην αντιμετώπιση των πραγματικών βιομηχανικών προβλημάτων και συντείνουν στην ενημέρωση του μαθητή σχετικά με τις συνθήκες του εργοστασίου, τα μεγέθη της παραγωγής και τη βιομηχανική μεθοδολογία. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διάκριση μεταξύ λύσεων, που γίνονται αποδεκτές στις βιομηχανικές συνθήκες και εκείνων που είναι πρακτικά μη εφαρμόσιμες.

Το μάθημα συμπληρώνεται στην επόμενη τάξη με την ανάπτυξη των χημικών βιομηχανικών διεργασιών και την περιγραφή της παραγωγής των σημαντικότερων χημικών προϊόντων.

Καταβλήθηκε κάθε προσπάθεια, με την πολύτιμη συνδρομή του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου, για την παρουσίαση της ύλης του βιβλίου με τρόπο απλό, μέσα από πρακτικά παραδείγματα και με τη χρησιμοποίηση πλήθους φωτογραφιών και σχημάτων. Επίσης, πολλές χρήσιμες υποδείξεις έγιναν από τους συναδέλφους Αθ. Καλαντζόπουλο και Μελοπομένη Στάικου. Ελπίζω ότι η χρησιμοποίηση του βιβλίου θα συμβάλλει στην ολοκλήρωση της μορφώσεως των μαθητών προς τους οποίους απευθύνεται.

Ο συγγραφέας

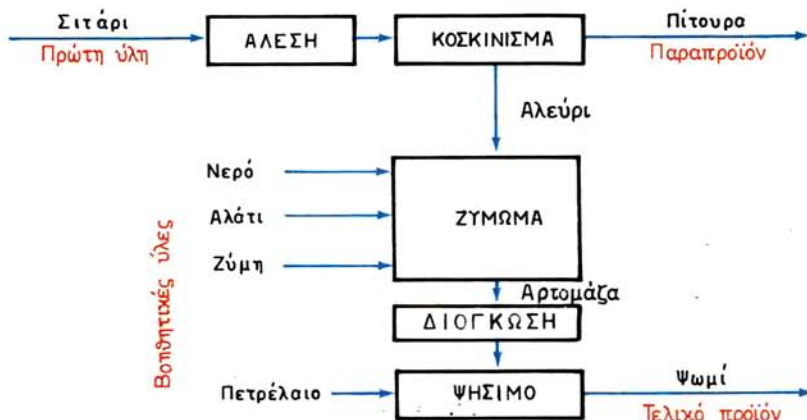
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

1.1 Πρώτες ύλες και προϊόντα.

Τα περισσότερα από τα είδη που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος για την ικανοποίηση των αναγκών του, είναι προϊόντα διαφόρων βιομηχανικών διεργασιών, που έχουν διεξαχθεί σε εργοστάσια μικρού ή μεγάλου μεγέθους. Ας πάρουμε ένα πολύ πρόχειρο παράδειγμα. Το ψωμί, που αγοράζουμε κάθε μέρα, μπορεί να προέρχεται από κάποιο μικρό συνοικιακό φούρνο ή από ένα μεγάλο εργοστάσιο αρτοποιίας. Από όπου όμως και να προέρχεται, οι διεργασίες, που εκτελέσθηκαν για την παρασκευή του, είναι όμοιες μεταξύ τους. Αλεύρι ζυμώθηκε με νερό, με προσθήκη μικρής ποσότητας αλατιού και ζύμης (μαγιάς) και η αρτομάζα (το ζυμάρι), που σχηματίσθηκε, κόπηκε σε κομμάτια και αφέθηκε να διογκωθεί με τη δράση της ζύμης. Κατόπιν, τα κομμάτια της αρτομάζας ψήθηκαν σε φούρνο θερμοκρασίας 230°C περίπου. Για την παρασκευή του αλευριού, είχε βέβαια προηγηθεί το άλεσμα και κοσκίνισμα του σιταριού, ώστε να γίνει η θραύση των κόκκων του και να ξεχωρίσει το αλεύρι από το περίβλημα του κόκκου, δηλαδή από τα πύτουρα.

Στο παράδειγμά μας, το σιτάρι είναι η **πρώτη ύλη**, από την οποία ξεκινά μία βιομηχανική διαδικασία που, όπως είδαμε, περιλαμβάνει μία σειρά από **διεργασίες** (άλεση, κοσκίνισμα, ζύμωμα, ψήσιμο), οι οποίες επέφεραν διαδοχικές μετατροπές στα κατεργαζόμενα υλικά. Η διεξαγωγή των διεργασιών αυτών πραγματοποιήθηκε σε κατάλληλες **βιομηχανικές συσκευές** (μύλος, κόσκινο, ζυμωτήριο, φούρνος) και, στην πορεία της κατεργασίας, χρησιμοποιήθηκαν και ορισμένες **βοηθητικές ύλες** (νερό, αλάτι, ζύμη, πετρέλαιο για τη θέρμανση του φούρνου). Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1, κατά τη διαδικασία του παραδείγματός μας παρεμβάλλεται η παραγωγή μιας σειράς **ενδιάμεσων προϊόντων** (αλεύρι, αρτομάζα) και, εκτός από το κύριο **τελικό προϊόν**, το ψωμί, προκύπτουν και **παρaproϊόντα**, δηλαδή προϊόντα μικρότερης σημασίας, όπως π.χ. τα πύτουρα, που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή ζωοτροφών. Συγχρόνως σχηματίζονται και ορισμένα άχρηστα σώματα, όπως η αιθάλη και τα καυσαέρια από την καύση του πετρελαίου και τα ακάθαρτα νερά από το πλύσιμο των βιομηχανικών χώρων και συσκευών, που αποτελούν τα **απόβλητα** του εργοστασίου και απορρίπτονται συνήθως στο περιβάλλον, εφόσον δεν είναι τοξικά ή δεν προκαλούν απαράδεκτη ρύπανση. Το σύνολο των βιομηχανικών συσκευών, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός προϊόντος, συγκροτεί μία **βιομηχανική μονάδα**. Κάθε βιομηχανική εγκατάσταση, δηλαδή κάθε εργοστάσιο, μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερες από μία βιομηχανικές μονάδες. Στην περίπτωση αυτή το εργοστάσιο αποτελεί ένα **βιομηχανικό συγκρότημα**.



Σχ. 1.1.

Οι κυριότερες βιομηχανικές διεργασίες και τα διάφορα προϊόντα, που συμμετέχουν στην παρασκευή του ψωμιού από το σιτάρι.

1.2 Ποιότητα και κόστος των βιομηχανικών προϊόντων.

Δύο είναι οι βασικές απαιτήσεις, που πρέπει να ικανοποιεί ένα βιομηχανικό προϊόν, ώστε να μπορέσει να διατεθεί με επιτυχία στην αγορά και να καλύψει τις ανάγκες για τις οποίες προορίζεται. Η πρώτη απαίτηση είναι η **καλή ποιότητα** του προϊόντος, που εξασφαλίζεται με τη χρησιμοποίηση καταλλήλων πρώτων και βοηθητικών υλών και την εφαρμογή σωστών μεθόδων παραγωγής, με το συνεχή έλεγχο της καλής λειτουργίας των βιομηχανικών συσκευών και με την προσεκτική αποθήκευση, συσκευασία και μεταφορά των ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων.

Η δεύτερη βασική απαίτηση είναι το **χαμηλό κόστος** παραγωγής. Αυτό διαμορφώνεται από την τιμή αγοράς και τις απαιτούμενες ποσότητες των πρώτων υλών, των βοηθητικών υλών και της ενέργειας για τη λειτουργία των βιομηχανικών συσκευών, από το κόστος κατασκευής και συντηρήσεως της βιομηχανικής εγκαταστάσεως, από την απόδοση της κάθε βιομηχανικής μονάδας (που καθορίζεται από την ταχύτητα διεξαγωγής των διαφόρων διεργασιών), από τη δυνατότητα αξιοποίησεως των παραγομένων παραπροϊόντων, από τα έξοδα μεταφοράς των πρώτων υλών και των προϊόντων, από τις δαπάνες για την αμοιβή του προσωπικού και από άλλους οικονομικούς παράγοντες.

Από την τεχνολογική πλευρά, ουσιαστική συμβολή στη μείωση του κόστους παραγωγής των βιομηχανικών προϊόντων μπορεί να γίνει με την πληρέστερη αξιοποίηση του μηχανικού εξοπλισμού της βιομηχανίας και την καλύτερη απόδοση των εργαζομένων. Η συμβολή αυτή ονομάζεται **αύξηση της παραγωγικότητας**, που σημαίνει μείωση στην κατανάλωση υλικών και ενέργειας, στην απασχόληση εργασίας και στη δαπάνη κεφαλαίων ανά μονάδα παραγομένου προϊόντος, δηλαδή ανά χιλιόγραμμα ή ανά τόνο (αν το προϊόν μετριέται σε μάζα), ή ανά κυβικό μέτρο (αν μετριέται σε όγκο), ή ανά τεμάχιο (αν μετριέται σε πλήθος) κλπ.

1.3 Η επιλογή της τοποθεσίας της βιομηχανικής εγκαταστάσεως.

Αποφασιστική συμβολή στη διαμόρφωση του κόστους των προϊόντων έχει και

η σωστή **επιλογή της τοποθεσίας** ανεγέρσεως της βιομηχανικής εγκαταστάσεως.

Σε κάθε περίπτωση, αναζητείται ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός, με την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων και την αποφυγή των μειονεκτημάτων που συνδέονται με την εκλογή της θέσεως μιάς βιομηχανίας. Έτσι, είναι σκόπιμο να επιδιώκεται να βρίσκεται το εργοστάσιο συγχρόνως αρκετά κοντά στον τόπο παραγωγής των πρώτων υλών, στις αγορές καταναλώσεως των προϊόντων της, σε περιοχές όπου να υπάρχει διαθέσιμο προσωπικό για να απασχοληθεί στη βιομηχανία και σε κέντρα με την αναγκαία οργάνωση για την εξυπηρέτηση της λειτουργίας της (αναπτυγμένο εμπόριο για την προμήθεια διαφόρων υλικών και εξαρτημάτων, μηχανουργία για την επισκευή των μηχανημάτων, τράπεζες, τελωνεία κλπ.). Επίσης, όμως, ο θόρυβος που παράγουν συνήθως οι μηχανές των εργοστασίων, η εκπομπή καυσαερίων από τους βιομηχανικούς φούρνους και τα λεβητοστάσια, οι ογκώδεις και συχνά αντιαισθητικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, η πυκνή κυκλοφορία των φορτηγών αυτοκινήτων που μεταφέρουν τις πρώτες ύλες και τα προϊόντα κλπ. έχουν σαν συνέπεια να είναι συνήθως ενοχλητική η λειτουργία ενός εργοστασίου για όσους κατοικούν σε μικρή απόσταση από αυτό. Είναι, επομένως, γενικά ανεπιθύμητη η εγκατάσταση των βιομηχανιών μέσα σε κατοικημένες περιοχές.

Όμως, τα παλαιότερα χρόνια, όταν η βιομηχανική ανάπτυξη ήταν σχετικά στην αρχή της, σε πολλές χώρες, καθώς και στην Ελλάδα, τα κριτήρια, που επεκράτησαν στις περισσότερες περιπτώσεις ανεγέρσεως εργοστασίων, οδήγησαν στην πυκνή συγκέντρωση ενός μεγάλου μέρους της βιομηχανικής δραστηριότητας μέσα και γύρω από τα αστικά κέντρα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία στενότητας χώρου, την αδυναμία επεκτάσεως των εργοστασίων, την έντονη ρύπανση και μόλυνση του περιβάλλοντος από τα βιομηχανικά απόβλητα και τη γενικότερη ενόχληση των κατοίκων. Για τη διόρθωση της καταστάσεως αυτής έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια ειδικές περιοχές, έξω από τις μεγάλες πόλεις, στις οποίες ενθαρρύνεται από το κράτος (με παροχές δανείων, φορολογικές απαλλαγές κλπ.) η ίδρυση των νέων βιομηχανιών, καθώς και η μεταφορά των παλαιότερων εργοστασίων.

1.4 Οι βιομηχανικές περιοχές στην Ελλάδα.

Οι οργανωμένες **βιομηχανικές περιοχές** είναι εδαφικές εκτάσεις εξοπλισμένες με όλα τα αναγκαία έργα υποδομής για την ομαλή λειτουργία και ανάπτυξη των βιομηχανιών (οδικό ή και σιδηροδρομικό δίκτυο ή λιμενικές εγκαταστάσεις, παροχές νερού και ηλεκτρισμού, αποχέτευση και επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, τηλεπικοινωνίες κλπ) καθώς και για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών (ιατρεία, πυροσβεστικοί σταθμοί κλπ). Συνήθως δημιουργούνται σε μικρή απόσταση έξω από πόλεις, π.χ. περίπου 10 χιλιόμετρα, ώστε να μην είναι αισθητή η ενόχλησή τους, αλλά συγχρόνως η βιομηχανική περιοχή να χρησιμοποιεί τις ευκολίες που υπάρχουν στη γειτονική πόλη.

Στην Ελλάδα, λειτουργούν βιομηχανικές περιοχές κοντά στη Θεσσαλονίκη, στην Πάτρα, στο Ηράκλειο, στο Βόλο, στη Λάρισα, στην Καβάλα, στη Δράμα, στις Σέρρες, στα Ιωάννινα, στην Πρέβεζα, στη Λαμία, στην Τρίπολη, στην Κομοτηνή, στην Ξάνθη, στο Κιλκίς και στη Φλώρινα. Στο σχήμα 1.4α εικονίζεται ένα μεγάλο τμήμα της βιομηχανικής περιοχής του Βόλου. Επίσης σχεδιάζεται η δημιουργία βιομηχα-



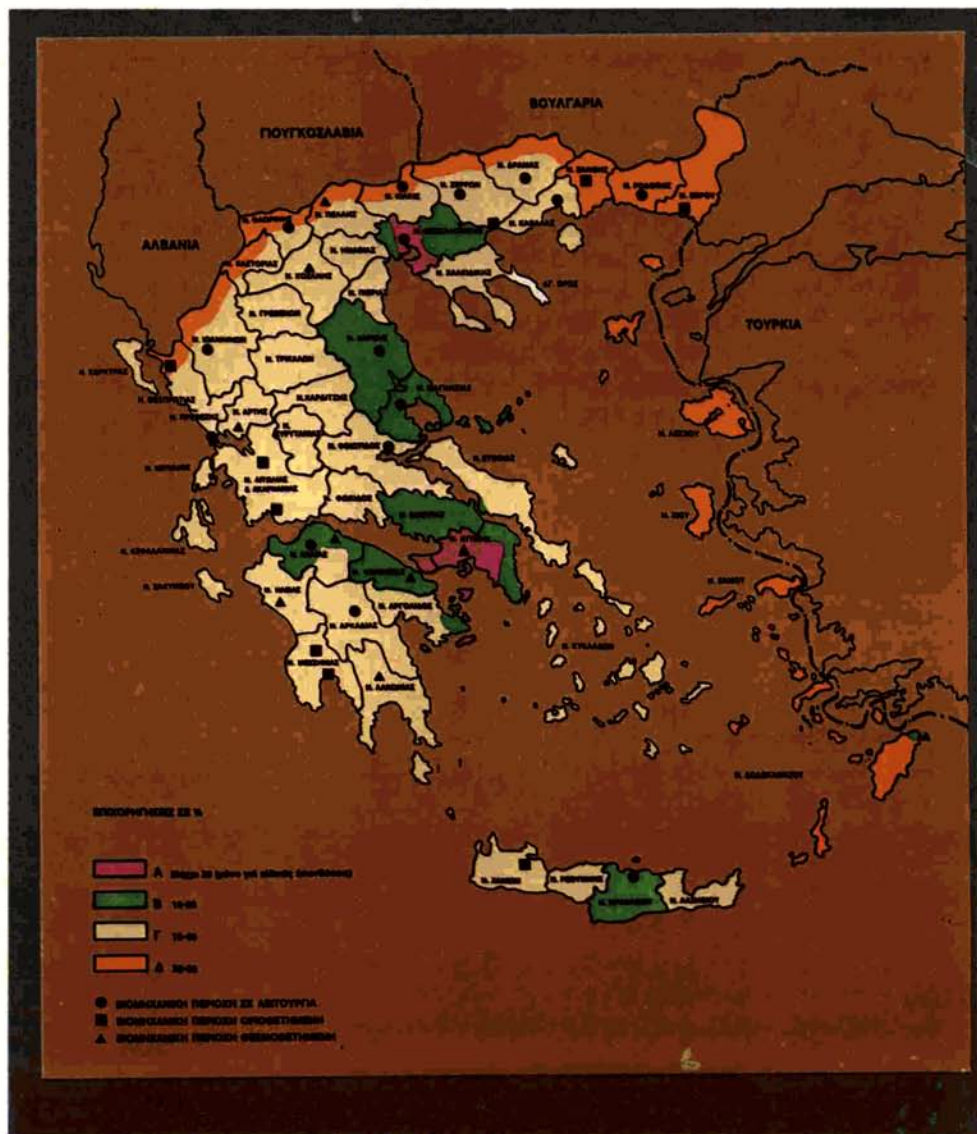
Σχ. 1.4α.

Ένα τμήμα της βιομηχανικής περιοχής Βόλου.

Η περιοχή απέχει 5 χιλιόμετρα από την πόλη, που διακρίνεται στο βάθος, έχει συνολική έκταση 3460 στρέμματα και περιλαμβάνει 30 βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στο εμπρός μέρος της φωτογραφίας φαίνεται ο υποσταθμός διανομής ηλεκτρικού ρεύματος της ΔΕΗ. Το κυβικό κτίριο, πιο πίσω, περιλαμβάνει ψυκτικούς αποθηκευτικούς χώρους για ευαίσθητα προϊόντα. Το ψηλό κτίριο, πίσω αριστερά, είναι ένας αλευρόμυλος και, ακόμη πιο πλάγια, είναι ένα εανοστάσιο μπισκότων και ένα άλλο καλλυντικών. Δεξιά από τον αλευρόμυλο είναι μία χαρτοποιία. Τα υπόλοιπα εργοστά-

νικών περιοχών κοντά και σε άλλες πόλεις όπως το Μεσολόγγι, το Αργίριο, το Αίγιο, η Αμφίπολη κλπ.

Από την άποψη της παροχής κρατικών κινήτρων, και κυρίως επιχορηγήσεων, για την ίδρυση ή τη μεταφορά βιομηχανιών, η Ελλάδα είναι χωρισμένη σε 4 κατηγορίες. Όπως δείχνεται στο χάρτη του σχήματος 1.4β, ισχυρότερα κίνητρα δίνονται, για εθνικούς λόγους, στις παραμεθόριες περιοχές της χώρας.



Σχ. 1.4β.

Χάρτης με τις βιομηχανικές περιοχές της Ελλάδας, και γεωγραφική κατανομή των κρατικών επιχορηγήσεων, ως ποσοστό στο αρχικό κεφάλαιο, για την ίδρυση ή τη μεταφορά βιομηχανιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

2.1 Η σχέση Χημικής Τεχνολογίας και Χημικής Βιομηχανίας.

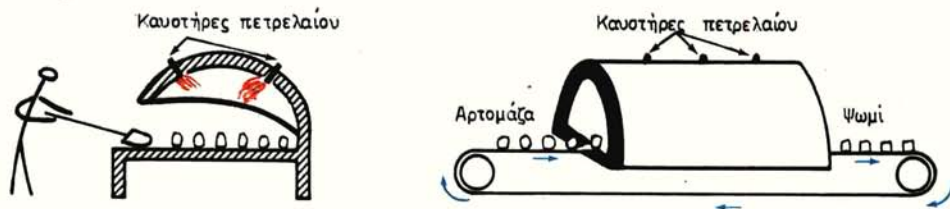
Είδαμε παραπάνω ότι στη βιομηχανία επιδιώκεται η παραγωγή προϊόντων καλής ποιότητας και χαμηλού κόστους. Οι παράγοντες όμως, που διαμορφώνουν την ποιότητα και, ακόμη περισσότερο, το κόστος των βιομηχανικών προϊόντων, εξαρτώνται, σε μεγάλο βαθμό, από τις συγκεκριμένες συνθήκες της κάθε βιομηχανίας. Δηλαδή από τις τοπικές ανάγκες της αγοράς, από το είδος των πρώτων υλών και της ενέργειας, που είναι περισσότερο πρόσφορες στην περιοχή, από το μέγεθος της παραγωγής της βιομηχανίας, από τους τοπικούς κανονισμούς, που καθορίζουν π.χ. τον απαιτούμενο βαθμό καθαρότητας (και επομένως και τις δαπάνες κατεργασίας) των βιομηχανικών αποβλήτων, ώστε να μην ρυπαίνεται το περιβάλλον, ακόμα και από το επίπεδο της εκπαίδευσης και της ικανότητας του προσωπικού που θα λειτουργήσει το εργοστάσιο. Έτσι για την παραγωγή των βιομηχανικών προϊόντων, έχουν αναπτυχθεί διάφορες **μέθοδοι** και κάθε φορά, επιλέγεται ή προσαρμόζεται εκείνη, που παρέχει το προϊόν στην επιθυμητή ποιότητα, με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες, που μπορεί να επιδράσουν στην επιλογή της βιομηχανικής μεθόδου, είναι οι διαστάσεις του χώρου που είναι διαθέσιμος για τη βιομηχανική εγκατάσταση και η απαίτηση για τη σύντομη ανέγερση και έναρξη της λειτουργίας της.

Η πραγματοποίηση του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος, προϋποθέτει το σωστό συνδυασμό όλων των πιο πάνω παραγόντων, καθώς μάλιστα πολλοί από αυτούς ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Όπως π.χ. η παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας με τη χρησιμοποίηση φθηνών πρώτων υλών, η διεξαγωγή ταχείων διεργασιών με την κατανάλωση μικρής ποσότητας ενέργειας, η κατασκευή απλών βιομηχανικών εγκαταστάσεων εύκολων στη λειτουργία και τη συντήρηση, με την απασχόληση σχετικά μικρού αριθμού εργαζομένων.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η σωστή χρησιμοποίηση των βιομηχανικών μεθόδων στις χημικές βιομηχανίες, διότι κατά την παραγωγή των χημικών βιομηχανικών προϊόντων, συντελούνται **ουσιαστικές μεταβολές στη χημική σύσταση ή τη φυσική κατάσταση της ύλης**. Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι το αντικείμενο της χημικής τεχνολογίας είναι η **επιδίωξη της παραγωγής της μεγαλύτερης δυνατής ποσότητας και της καλύτερης δυνατής ποιότητας ενός χημικού προϊόντος, με τη μικρότερη δυνατή δαπάνη σε πρώτες ύλες και ενέργεια**. Από τη μελέτη της κάθε ειδικής περιπτώσεως, η χημική τεχνολογία εξάγει το συμπέρασμα, όπως θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια, για τη μέθοδο που πρέπει να προτιμηθεί στην παραγωγή ενός

προϊόντος και τις διεργασίες που πρέπει να περιλαμβάνει αυτή, για το είδος και το μέγεθος των βιομηχανικών συσκευών και τις συνθήκες λειτουργίας τους, ώστε να πραγματοποιείται το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα.

Π.χ., ξαναγουρίζοντας στο γνωστό μας παράδειγμα της παραγωγής του ψωμιού, περιμένουμε ότι από τη μελέτη μιάς συγκεκριμένης περιπτώσεως αρτοποιίας θα μπορέσει να βγει το συμπέρασμα αν είναι σκόπιμος ο αποχωρισμός του σταδίου αλευροποίησης του σιταριού από το στάδιο αρτοποιίας του αλευριού. Δηλαδή, να γίνει μία χωριστή βιομηχανική μονάδα (ένας αλευρόμυλος) στον τόπο παραγωγής του σιταριού και μία άλλη (το εργοστάσιο αρτοποιίας) κοντά στον τόπο κατανώσεως του ψωμιού. Από την ίδια μελέτη ίσως κριθεί ότι, αν η παραγωγή είναι αρκετά μεγάλη, θα είναι σκόπιμο να μη γίνεται το ψήσιμο του ψωμιού σε ένα κοινό φούρνο, όπου η εισαγωγή της αρτομάζας και η εξαγωγή του ψημένου ψωμιού γίνεται με το φτυάρι, αλλά σε μία κάμινο τύπου σήραγγας (τούνελ), που τη διατρέχει μία συνεχώς κινούμενη μεταφορική ταινία (σχ. 2.1). Επίσης, ίσως διαπιστωθεί ότι π.χ. η αύξηση της θερμοκρασίας του φούρνου κατά 10°C επιτρέπει τη μείωση του αναγκαίου χρόνου ψήσιματος του ψωμιού κατά $10'$ χωρίς δυσμενή επίδραση στην ποιότητά του. Η παρατήρηση αυτή είναι πολύ χρήσιμη, γιατί οδηγεί στην αύξηση της αποδόσεως του φούρνου, με κατάλληλη ρύθμιση των συνθηκών λειτουργίας του.



Σχ. 2.1.

Ένας κοινός φούρνος αρτοποιίας και μία κάμινο τύπου σήραγγας συνεχούς λειτουργίας.

2.2 Η προσαρμογή στις πρακτικές συνθήκες.

Στο παραπάνω παράδειγμα, είδαμε ότι, από πρακτικές παρατηρήσεις, μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για την καλύτερη συγκρότηση και λειτουργία των βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Αλλά και αντίστροφα, οποιαδήποτε μέθοδος ή τεχνική επινόηση δεν μπορεί να κερδίσει την καθιέρωσή της στη βιομηχανία, πριν περάσει από τη δοκιμασία της πρακτικής εφαρμογής με θετικά αποτελέσματα. Πολλές τεχνικές λύσεις ίσως να φαίνονται στα χαρτιά έξυπνες και πρωτότυπες, η αξία τους όμως για βιομηχανική χρήση θα αποδειχθεί μόνο αν ξεπεράσουν με επιτυχία τις δυσκολίες της προσαρμογής τους στις συνθήκες του εργοστασίου.

Γενικότερα, άλλωστε, απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή λύση κάθε βιομηχανικού προβλήματος της χημικής τεχνολογίας, είναι ο συνδυασμός των πορισμάτων από τους θεωρητικούς υπολογισμούς και της εμπειρίας από τις πρακτικές παρατηρήσεις στο εργοστάσιο και το εργαστήριο. **Πρέπει δηλαδή οι επιδιωκόμενες διεργασίες να είναι πραγματοποιήσιμες στις βιομηχανικές συνθήκες και να είναι**

προσαρμοσμένες στους περιορισμούς, που επιβάλλονται από αυτές. Π.χ. η θέρμανση σε μία κάμινο δεν πρέπει να ξεπερνά σε θερμοκρασία το όριο αντοχής των πυριμάχων τούβλων από τα οποία είναι κατασκευασμένη, αλλά ούτε και θα πρέπει να αναμένεται διατήρηση της θερμοκρασίας με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις ανοχές ρυθμίσεως στη συγκεκριμένη βιομηχανική συσκευή (για τις καμίνους είναι συνήθως $\pm 5^{\circ}\text{C}$ περίπου). Είναι φανερό ότι η μορφή, το μέγεθος και οι λεπτομέρειες λειτουργίας των βιομηχανικών συσκευών πρέπει να προσαρμόζονται στις ιδιομορφίες της κάθε βιομηχανικής παραγωγής έτσι, ώστε να επιτυγχάνονται οι φυσικές και χημικές μεταβολές των προϊόντων στις επιθυμητές ποσότητες, κατά τρόπο που να συμφέρει οικονομικά και να είναι τεχνικά ασφαλής. Επίσης, κατά το σχεδιασμό μιας βιομηχανικής συσκευής για τη διεξαγωγή μιας καθορισμένης διεργασίας, πρέπει να γίνονται έγκαιρα οι απαιτούμενες προβλέψεις, ώστε να μη προκύψουν ύστερα αξεπέραστα πρακτικά προβλήματα, κατά τα στάδια της κατασκευής και συναρμολόγησής καθώς και κατά τη λειτουργία και συντήρηση της συσκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

3.1 Οι φυσικές διεργασίες και οι χημικές διεργασίες.

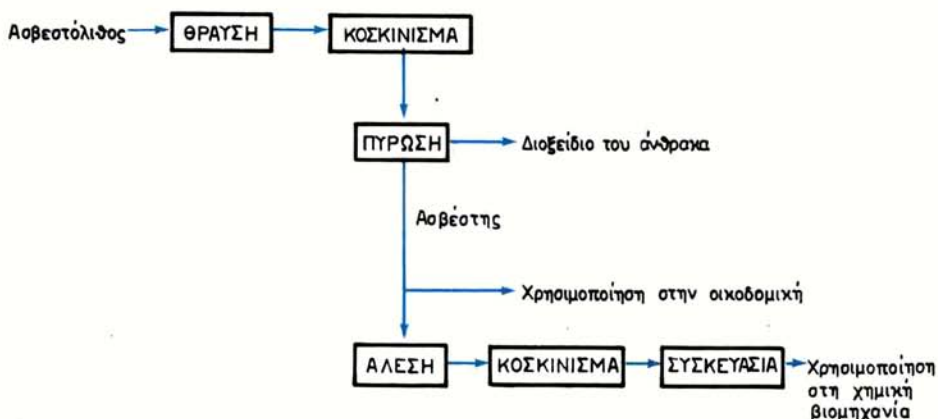
Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ότι στη χημική βιομηχανία πραγματοποιούνται διάφορες διεργασίες, δηλαδή **λειτουργίες βιομηχανικών συσκευών, που αποβλέπουν στη μεταβολή της χημικής συστάσεως ή της φυσικής καταστάσεως της ύλης**. Π.χ. στη βιομηχανική εγκατάσταση, που περιγράφει το σχήμα 1.1, περιέχονται, όπως είδαμε, οι διαδοχικές διεργασίες άλεση, κοσκίνισμα, ζύμωμα, διόγκωση και ψήσιμο. Οι τρεις πρώτες από αυτές είναι **φυσικές διεργασίες**, συνοδεύονται δηλαδή από φυσικά φαινόμενα όπως είναι ο τεμαχισμός του κόκκου του σιταριού, ο διαχωρισμός του αλευριού από τα πίτουρα και η ανάμιξη του αλευριού με το νερό και τα άλλα συστατικά της αρτομάζας. Στις διεργασίες αυτές δεν γίνεται καμία ουσιαστική επέμβαση στη χημική σύσταση των κατεργαζομένων υλικών, αλλά μόνο μεταβολές στη φυσική κατάσταση και τη μορφή τους. Συγκεκριμένα γίνεται ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων ενός στερεού, διαχωρισμός των συστατικών ενός μίγματος στερεών και ανάμιξη τριών στερεών με ένα υγρό.

Οι **χημικές διεργασίες**, αντίθετα, συνεπάγονται την πραγματοποίηση μεταβολών στη σύσταση των υλικών, σαν αποτέλεσμα χημικών συνθέσεων, διασπάσεων, εξουδετερώσεων κλπ. Έτσι, από χημική διεργασία προκαλείται η διόγκωση (φούσκωμα, ανέβασμα) της αρτομάζας, αφού οφείλεται σε φυσαλίδες του αερίου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που παράγεται κατά τη μερική ζύμωση* και διάσπαση των σακχάρων της αρτομάζας με την επίδραση των μυκήτων της ζύμης. Επίσης, σε χημικές διεργασίες οφείλονται ο σχηματισμός της ψίχας (ζελατινοποίηση του αμύλου και σταθεροποίηση της σπογγώδους μορφής του εσωτερικού της αρτομάζας) και ο χρωματισμός της κόρας του ψωμιού (μερική απανθράκωση των σακχάρων στην επιφάνεια της αρτομάζας) κατά τη συμπλήρωση του ψησίματος.

3.2 Οι φυσικές διεργασίες στη χημική βιομηχανία.

Στη χημική βιομηχανία, ο προορισμός των φυσικών διεργασιών είναι συνήθως να προετοιμάσουν τις πρώτες ύλες, ώστε να διευκολύνεται η διεξαγωγή των χημικών μεταβολών και αντιδράσεων κατά τις χημικές διεργασίες, που επακολουθούν,

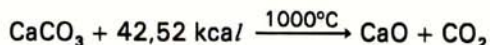
* Δεν θα πρέπει να γίνει σύγχυση στους όρους. Είναι φανερό ότι άλλο είναι το ζύμωμα (μάλαξη) της αρτομάζας σε ζυμωτήριο, και άλλο η ζύμωση που προκαλεί στη συνέχεια τη διόγκωσή της.



Σχ. 3.2.

Οι κυριότερες βιομηχανικές διεργασίες και προϊόντα, κατά την παρασκευή του ασβέστη από τον ασβεστόλιθο.

καθώς επίσης και να προσδώσουν στα προϊόντα την τελική τους μορφή. Τούτο είναι φανερό στο παράδειγμα που χρησιμοποιήσαμε ως τώρα. Ένα άλλο πρόχειρο παράδειγμα, είναι η παραγωγή του ασβέστη με πύρωση του ασβεστόλιθου, που φαίνεται διαγραμματικά στο σχήμα 3.2. Δύο φυσικές διεργασίες, η θραύση και το κοσκίνισμα του ασβεστόλιθου, προηγούνται από τη χημική διεργασία, δηλαδή τη διάσπαση του ασβεστόλιθου κατά τη θερμοχημική αντίδραση:



Ο προορισμός των δύο αυτών φυσικών διεργασιών, είναι να ελαττώσουν αρκετά το μέγεθος των τεμαχίων του ασβεστόλιθου, με τα οποία τροφοδοτείται η ασβεστοκάμιнос π.χ. κάτω των 20 cm περίπου, ώστε να διευκολύνεται η ταχεία και ομοιόμορφη θερμανσή τους, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος της παραγωγής, αφού η θερμική διάσπαση του ασβεστολίθου συμπληρώνεται γρηγορότερα. Συγχρόνως βελτιώνεται η ποιότητα του προϊόντος διότι σε ολόκληρη την ποσότητα του ασβεστολίθου γίνεται κατεργασία με τις ίδιες συνθήκες και επομένως ο παραγόμενος ασβέστης έχει ενιαίες και σταθερές ιδιότητες. Όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, υπάρχει και εδώ ένα παραπροϊόν, το διοξείδιο του άνθρακα. Τα αέρια της ασβεστοκάμιнос περιέχουν 30-35% CO₂, που μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί π.χ. για την παρασκευή αεριούχων ποτών ή για την πλήρωση πυροσβεστήρων. Το κύριο προϊόν, ο ασβέστης (οξείδιο του ασβεστίου, CaO), μπορεί να διατεθεί για ορισμένες από τις χρήσεις του (π.χ. στην οικοδομική) στη μορφή που εξάγεται από την ασβεστοκάμινο, δηλαδή σε τεμάχια. Για άλλες όμως βιομηχανικές χρήσεις, π.χ. για την παρασκευή γυαλιού ή ανθρακασβεστίου, απαιτείται να υποβληθεί το προϊόν σε νέες φυσικές διεργασίες (άλεση, κοσκίνισμα, συσκευασία σε σάκους), ώστε να ικανοποιεί τις ειδικές ανάγκες της καταναλώσεως.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των σχημάτων 1.1 και 3.2, βλέπουμε ότι, αν και οι πρώτες ύλες, καθώς και τα προϊόντα, είναι εντελώς διαφορετικά, πολλές από τις διεργασίες που διεξάγονται στις δύο περιπτώσεις είναι όμοιες μεταξύ τους (άλε-

ση, κοσκίνισμα, ψήσιμο, και πύρωση). Βέβαια η εφαρμογή των διεργασιών αυτών, δηλαδή η κατασκευή και η λειτουργία των μύλων αλέσεως και των κοσκίνων, παρουσιάζει ορισμένες διαφορές στην περίπτωση του αλευριού από την περίπτωση του ασβέστη. Ακόμη μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάζει ο φούρνος της αρτοποιίας από την ασβεστοκάμινο. Οι αρχές όμως που ισχύουν στη διεξαγωγή των ομοίων διεργασιών και στην κατασκευή και λειτουργία των αντιστοίχων βιομηχανικών συσκευών είναι οι ίδιες. Αυτό απλοποιεί πολύ τα πράγματα, γιατί η γενική θεώρηση κάθε διεργασίας, μας δίνει τη δυνατότητα να είμαστε ύστερα σε θέση να κατανοούμε τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται, τους παράγοντες που την επηρεάζουν, τις μαθηματικές σχέσεις που την εκφράζουν και όλα αυτά να τα εφαρμόζουμε στις πρακτικές συνθήκες, ανεξάρτητα από το είδος των κατεργαζομένων προϊόντων.

Οι κυριότερες φυσικές διεργασίες που εμφανίζονται στη χημική βιομηχανία είναι:

- Η αποθήκευση και η μεταφορά των στερεών, των υγρών και των αερίων προϊόντων και υλικών μέσα στο εργοστάσιο.
- Η θραύση, η άλεση, το κοσκίνισμα, ο ανεμοδιαχωρισμός, ο ηλεκτροστατικός και ο μαγνητικός διαχωρισμός, η ανάμιξη, η εκχύλιση, η έκθλιψη και η ξήρανση των στερεών.
- Η διαύγηση, η διήθηση, η φυγοκέντρηση, η απόσταξη, η κρυστάλλωση, η εκχύλιση και η ανάμιξη των υγρών.
- Η αποκονίωση, η απορρόφηση, η κατακράτηση του κονιορτού και η ξήρανση των αερίων.
- Η θέρμανση και η ψύξη των διαφόρων προϊόντων και υλικών.

Όλες τις παραπάνω διεργασίες θα τις κατατάξουμε με συστηματικό τρόπο και θα τις εξετάσουμε στα επόμενα κεφάλαια του βιβλίου. Θα γνωρίσουμε επίσης τις κυριότερες βιομηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή τους.

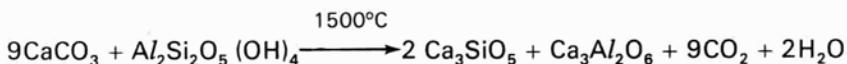
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

4.1 Το σχηματικό διάγραμμα.

Η γραφική διατύπωση σε μορφή σχήματος ή διαγράμματος, κάνει το κάθε τεχνικό θέμα περισσότερο αντιληπτό και διευκολύνει συνήθως σημαντικά την παρουσίαση και τη μελέτη του. Στα θέματα της χημικής τεχνολογίας, ειδικότερα, η περιγραφή των βιομηχανικών διεργασιών με διαγραμματική απεικόνιση, δίνει τη δυνατότητα να έχουμε, με μια ματιά, μια γενική εικόνα της λειτουργίας ενός εργοστασίου, καθώς η προσοχή μας συγκεντρώνεται στα ουσιαστικά στάδια της βιομηχανικής πορείας και δεν αποσπάται σε λεπτομέρειες που είναι περιττές για την κατανόηση της εφαρμοζόμενης παραγωγικής μεθόδου. Έτσι τα διαγράμματα των σχημάτων 1.1 και 3.2 μας κατατοπίζουν εύκολα, αλλά με πάρα πολύ γενικό τρόπο, σχετικά με τη διαδικασία της παραγωγής του ψωμιού και του ασβέστη, δείχνοντας τις διεξαγόμενες διεργασίες, τις πρώτες και τις βοηθητικές ύλες και τα παραγόμενα προϊόντα.

Οι περιγραφές της αρτοποιίας και της ασβεστοποιίας που προηγήθηκαν, ήταν αρκετές για να μας δώσουν όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για την κατασκευή των αντίστοιχων διαγραμμάτων. Για να εξοικειωθούμε τώρα περισσότερο με τις βιομηχανικές διαγραμματικές απεικονίσεις, ας προχωρήσουμε σε ένα δυσκολότερο παράδειγμα, που περιγράφει την παραγωγή ενός άλλου προϊόντος μεγάλης χρήσεως, του **τσιμέντου**. Η βιομηχανία τσιμέντου παρουσιάζει ορισμένες ομοιότητες με την ασβεστοποιία, αλλά είναι βέβαια πιο πολύπλοκη. Το τσιμέντο παράγεται με πύρωση μίγματος ασβεστόλιθου και αργίλου σε περιστροφική κάμινο θερμοκρασίας 1500°C, ανάμιξη του προϊόντος με γύψο και κονιοποίηση. Κατά την πύρωση επέρχεται διάσπαση του ασβεστόλιθου και της αργίλου και σχηματίζονται διάφορα πυριτικά και αργιλικά άλατα του ασβεστίου. Ανάλογα με τη σύσταση του μίγματος, οι χημικές αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται στην περιστροφική κάμινο της τσιμεντοποιίας, μπορούν να διατυπωθούν από συνολικές χημικές εξισώσεις, όπως π.χ. η παρακάτω:



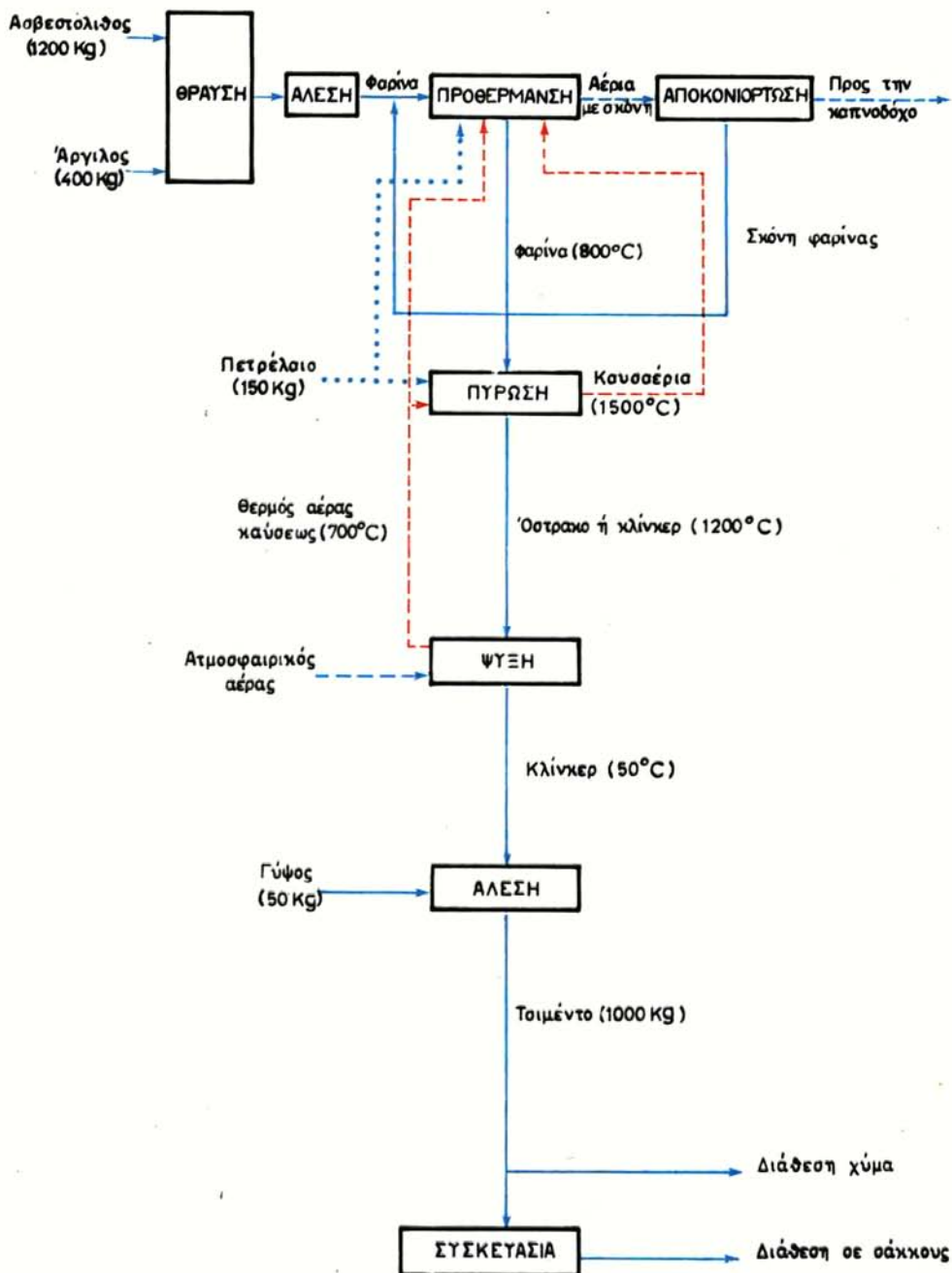
Στις διαδικασίες της παραγωγής του τσιμέντου συμμετέχουν, σαν ενδιάμεσα προϊόντα, το αλεσμένο μίγμα του ασβεστόλιθου και της αργίλου, που ονομάζεται

φαρίνα, και το προϊόν της πυρώσεως στην περιστροφική κάμινο, που ονομάζεται **όστρακο** ή **κλίνκερ**. Δύο απαραίτητες φυσικές διεργασίες (θραύση και άλεση των πρώτων υλών) διεξάγονται πριν από την πύρωση και μία άλλη (άλεση του κλίνκερ) ύστερα από αυτή. Στα σύγχρονα εργοστάσια τσιμέντου εκτελούνται επίσης και πολλές άλλες διεργασίες, που δεν είναι απαραίτητες για την παραγωγή του προϊόντος αλλά συμβάλλουν στην εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται στο εργοστάσιο, περιορίζουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος κλπ. Τέτοιες δευτερεύουσες διεργασίες είναι π.χ. η προθέρμανση της φαρίνας από τα καυσαέρια της περιστροφικής καμίνου, η ψύξη του κλίνκερ με παράλληλη θέρμανση του αέρα καύσεως του πετρελαίου στην κάμινο και στους κυκλώνες προθερμάνσεως της φαρίνας, η αποκονιορτοποίηση των καυσαερίων, για να ανακτηθεί η σκόνη της φαρίνας που παρασύρεται από αυτά και τέλος, η συσκευασία του τσιμέντου στους χάρτινους σάκκους που βλέπομε να κυκλοφορούν στο εμπόριο. Οι δύο πρώτες από τις παραπάνω συμπληρωματικές διεργασίες γίνονται για να μη χάνεται η παραγόμενη θερμότητα, αλλά να αξιοποιείται μέσα στο εργοστάσιο, και να μειώνεται το κόστος του προϊόντος. Η τρίτη για να μη ρυπαίνεται το περιβάλλον και συγχρόνως να μη χάνονται πρώτες ύλες από την καπνοδόχο. Η συσκευασία, που κλείνει συνήθως τη διαδικασία της παραγωγής ενός προϊόντος, είναι συχνά απαραίτητη για την προστασία του και την εμπορική του διάθεση.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες για τη βιομηχανική παραγωγή του τσιμέντου, καθώς και άλλα χρήσιμα στοιχεία, όπως οι ποσότητες και οι θερμοκρασίες των διακινουμένων υλικών στο εργοστάσιο, μπορούν να περιληφθούν σε ένα **σχηματικό διάγραμμα**, που βλέπομε στο σχήμα 4.1α. Στο σχήμα αυτό, όπως άλλωστε και στα διαγράμματα των σχημάτων 1.1 και 3.2, έχομε τοποθετήσει, για λόγους ομοιομορφίας, στο αριστερό μέρος τις χρησιμοποιούμενες πρώτες και βοηθητικές ύλες και στο δεξιό μέρος τα παραγόμενα προϊόντα, ώστε η γενική πορεία της ροής των υλικών να είναι από πάνω αριστερά προς τα κάτω δεξιά. Μπορεί όμως να προτιμηθεί και οποιαδήποτε άλλη διάταξη, αρκεί να καθιστά σαφέστερη την παρουσίαση της βιομηχανικής διαδικασίας.

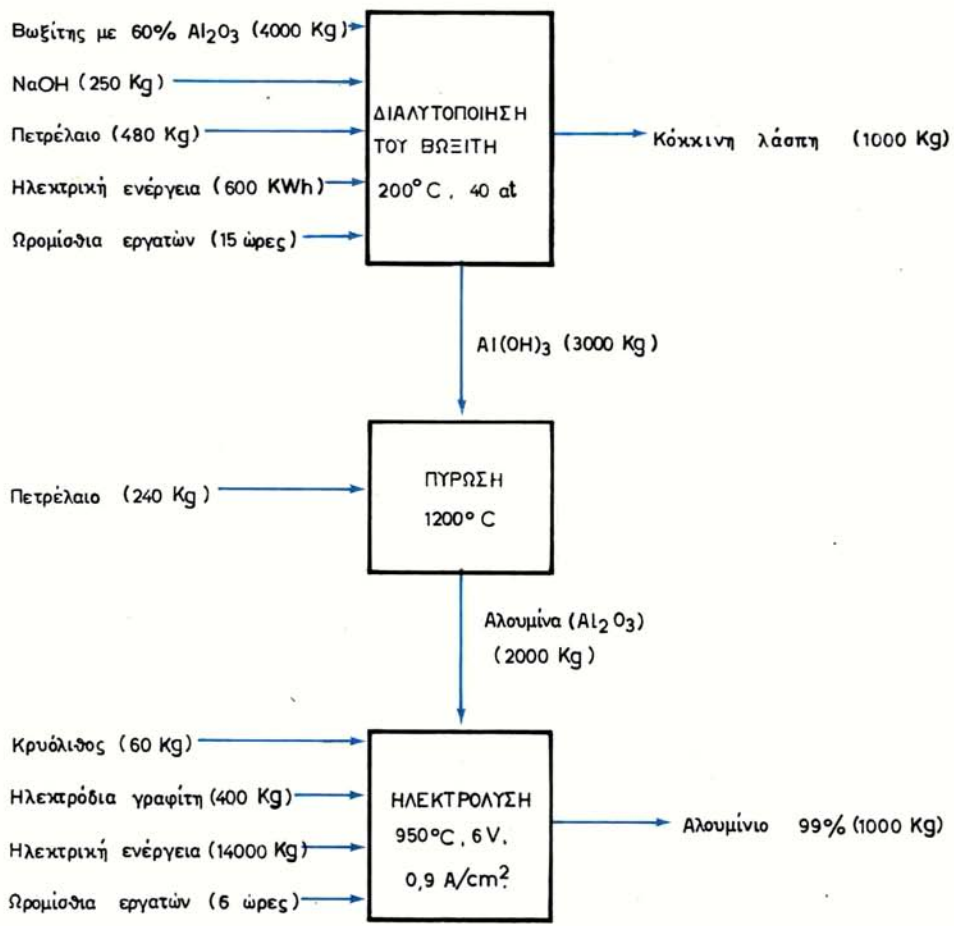
Το σχηματικό διάγραμμα, λοιπόν, δείχνει καταρχήν την πορεία της βιομηχανικής παραγωγής ενός προϊόντος. Αυτό, όμως, μπορεί να γίνει δίνοντας στο διάγραμμα διάφορες μορφές, ανάλογα με τα στοιχεία που θέλομε να προβάλλει περισσότερο. Όταν π.χ. ο κύριος σκοπός του σχηματικού διαγράμματος είναι να δώσει τις ποσότητες των πρώτων και των βοηθητικών υλών και των παραγομένων προϊόντων και αποβλήτων (που ισούνται βέβαια μεταξύ τους και αποτελούν ένα **ισοζύγιο μάζας**), σχεδιάζομε ένα **διάγραμμα ροής υλικών**. Όταν μας ενδιαφέρει περισσότερο η κατανάλωση των καυσίμων και του ηλεκτρικού ρεύματος και η διακίνηση της θερμότητας κατά τις διάφορες διεργασίες, σχεδιάζομε ένα **διάγραμμα ροής ενέργειας**.

Έτσι, το διάγραμμα του σχήματος 4.1α, που δείχνει κυρίως τις ποσότητες των υλικών που συμμετέχουν στην παραγωγή του τσιμέντου, είναι ένα διάγραμμα ροής υλικών. Το διάγραμμα όμως του σχήματος 4.1β, που περιγράφει την παραγωγή του αλουμινίου από βωξίτη, δείχνει επιπλέον και τις κυριότερες καταναλώσεις ενέργειας υπό διάφορες μορφές, όπως η καύση πετρελαίου, η ηλεκτρική ενέργεια και η απασχόληση εργατών. Το διάγραμμα αυτό είναι επομένως ροής υλικών και συγχρόνως ροής ενέργειας.



Σχ. 4.1α.

Σχηματικό διάγραμμα της βιομηχανικής παραγωγής του τσιμέντου. Οι συνεχείς γραμμές δείχνουν την πορεία των στερεών και οι διακεκομμένες των αερίων. Με μπλε χρώμα δείχνονται τα ψυχρά και με κόκκινο τα θερμά υλικά.

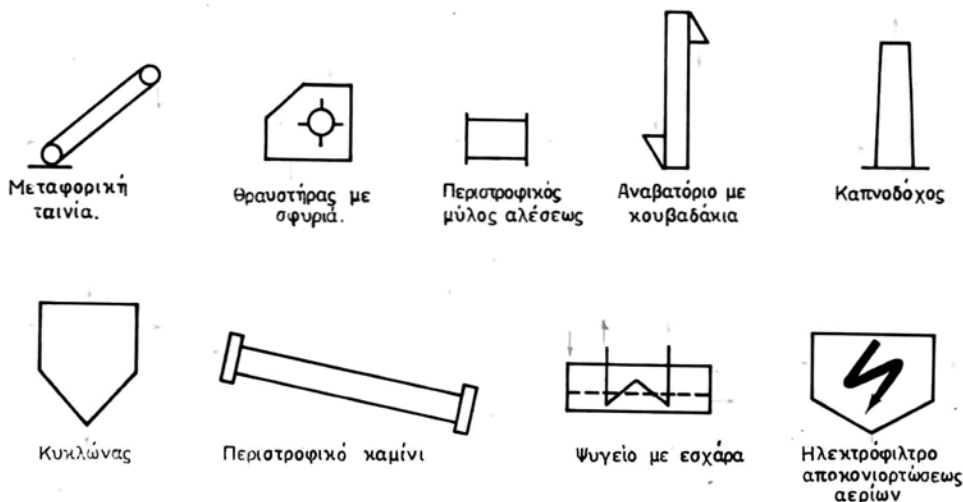


Σχ. 4.1β.

Διάγραμμα ροής υλικών και ενέργειας για τη μετατροπή του βωξίτη σε αλουμίνια και την ηλεκτρολυτική παραγωγή του αλουμινίου.

4.2 Το κατασκευαστικό διάγραμμα.

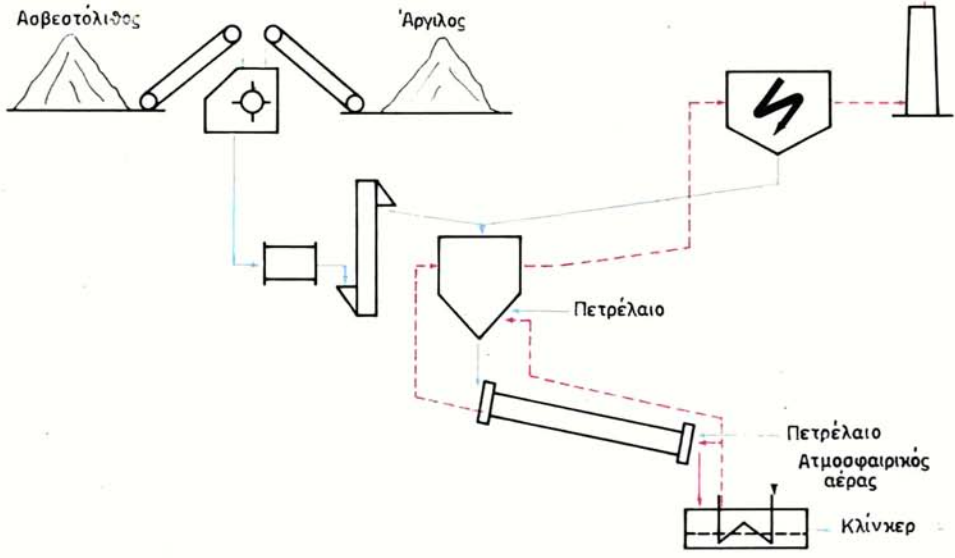
Περισσότερο παραστατικά από τα σχηματικά διαγράμματα είναι τα **κατασκευαστικά διαγράμματα**, στα οποία, αντί για τις διάφορες διεργασίες, απεικονίζονται συμβολικά οι βιομηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή τους. Έτσι π.χ. στη θέση της διεργασίας «θραύση» σχεδιάζεται, με ένα απλό συμβολικό σκίτσο, ο τύπος του θραυστήρα στον οποίο διεξάγεται η θραύση των υλικών. Στη θέση της διεργασίας «άλεση» σχεδιάζεται ο τύπος του χρησιμοποιούμενου μύλου κλπ. Σχεδιάζονται επίσης συμβολικά οι μεταφορικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη διακίνηση των υλικών (μεταφορικές ταινίες, αναβατόρια


Σχ. 4.2α.

Παραδείγματα συμβολικής απεικόνισης βιομηχανικών συσκευών. Τα βέλη δείχνουν τις θέσεις εισόδου και εξόδου των υλικών από τις συσκευές. Στο συμβολικό σκίτσο του ψυγείου με εσχάρα, με κόκκινο χρώμα δείχνονται τα θερμά και με μπλε τα ψυχρά υλικά. Π.χ. σε ένα ψυγείο κλίνκερ, είσοδοι είναι το θερμό κλίνκερ και ο ψυχρός αέρας, και έξοδοι το ψυχρό κλίνκερ και ο θερμός αέρας.

κλιπ.), καθώς και όσα άλλα σημαντικά μηχανήματα και κατασκευές χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική εγκατάσταση που περιγράφεται από το διάγραμμα. Στο σχήμα 4.2α δίνονται τα συμβολικά σκίτσα ορισμένων από τους συνηθισμένους τύπους βιομηχανικών συσκευών. Περισσότερα από αυτά θα συναντήσουμε στα επόμενα αντίστοιχα κεφάλαια του βιβλίου.

Μπορούμε τώρα να καταστρώσουμε στο σχήμα 4.2β το κατασκευαστικό διάγραμμα ενός μεγάλου τμήματος της βιομηχανικής εγκαταστάσεως παραγωγής τσιμέντου που περιγράψαμε στο σχηματικό διάγραμμα του σχήματος 4.1α. Το ίδιο ακριβώς τμήμα ενός εργοστασίου, με τις αντίστοιχες βιομηχανικές συσκευές στην πραγματική τους μορφή και διαστάσεις, βλέπομε στη φωτογραφία του σχήματος 4.2γ. Διακρίνονται στην άκρη πίσω αριστερά οι σωροί των πρώτων υλών και οι μεταφορικές ταινίες που τις παραλαμβάνουν για να τροφοδοτήσουν το θραυστήρα. Το πολυόροφο κτίριο στεγάζει το θραυστήρα, το μύλο και τα σιλό αποθηκεύσεως της αλεσμένης φαρίνας στο πίσω μέρος, ενώ εμπρός φαίνονται οι κυκλώνες προθερμάνσεώς της. Οι μεγάλοι κατακόρυφοι αγωγοί, στις δύο πλευρές του κτιρίου, περιέχουν τα αναβατήρια που ανεβάζουν τη φαρίνα στους κυκλώνες. Χαμηλά, στη μέση, διακρίνεται η οριζόντια περιστροφική κάμιнос παραγωγής του κλίνκερ. Ψηλότερα και παράλληλα προς αυτήν είναι ένας μεγάλος σωλήνας, για τη μεταφορά θερμού αέρα στους κυκλώνες από το ψυγείο του κλίνκερ, που βρίσκεται στο ισόγειο του χαμηλού κτιρίου δεξιά. Δεν φαίνεται το ηλεκτρόφιλτρο αποκονιορτώσεως των αερίων, διότι βρίσκεται στο πίσω μέρος του πολυόροφου κτιρίου. Διακρίνεται όμως στο επάνω μέρος του πίσω κτιρίου (ακριβώς στο κέντρο της φωτογραφίας), το κυβικό κτίσμα που στεγάζει το ηλεκτρόφιλτρο μιάς άλλης όμοιας βιομηχανικής μονάδας του εργοστασίου. Δίπλα του είναι η καπνοδόχος εκπομπής των καθαρών αερίων στην ατμόσφαιρα.



Σχ. 4.2β.

Κατασκευαστικό διάγραμμα του αρχικού τμήματος ενός εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου, με τις διεργασίες θραύσεως, αλέσεως, προθερμάνσεως και πυρώσεως των πρώτων υλών, ψύξεως του κλίνκερ και αποκονιώσεως των αερίων.



Σχ. 4.2γ.

Το τμήμα ενός σύγχρονου μεγάλου εργοστασίου τσιμέντου κοντά στο Βόλο, που αντιστοιχεί ακριβώς στο περιεχόμενο του κατασκευαστικού διαγράμματος του σχήματος 4.2β.

4.3 Ο βαθμιαίος σχεδιασμός μιας χημικής βιομηχανίας.

Ας συγκρίνομε τους τρόπους συμβολικής παρουσίσεως της βιομηχανικής παραγωγής που είδαμε παραπάνω, δηλαδή τη χημική εξίσωση και τα δύο διαγράμματα. Η χημική εξίσωση μας δίνει μόνο τη θεωρητική στοιχειομετρική αναλογία των πρώτων ύλων και των προϊόντων της κύριας αντιδράσεως και τη θερμοκρασία στην οποία διεξάγεται αυτή. Το σχηματικό διάγραμμα, όμως, μας παρουσιάζει συνδυασμένα τις πραγματικές καταναλώσεις κατά τη βιομηχανική παραγωγή και όλες τις σημαντικές διεργασίες και διακινήσεις των υλικών μέσα στο εργοστάσιο, ώστε να είμαστε σε θέση να κατανοήσομε τη λειτουργία του. Στο κατασκευαστικό διάγραμμα απεικονίζονται συμβολικά οι τύποι των διαφόρων βιομηχανικών συσκευών, μηχανημάτων και κατασκευών του εργοστασίου, για να μπορέσομε να αποκτήσομε μια γενική οπτική αντίληψη της βιομηχανικής εγκαταστάσεως, που, όπως είδαμε με την παράθεση της φωτογραφίας, δεν απέχει πάρα πολύ από την πραγματικότητα.

Όμοια περίπου είναι και η σειρά των εργασιών που εκτελούνται συνήθως κατά τη μελέτη και το σχεδιασμό μιας χημικής βιομηχανίας. Το ξεκίνημα γίνεται με την κατάστρωση της εξισώσεως και τη μελέτη της χημικής αντιδράσεως, της οποίας επιθυμούμε τη βιομηχανική εφαρμογή. Για την παραγωγή ενός προϊόντος, ακολουθεί ύστερα από τους αναγκαίους τεχνικούς και εμπορικούς υπολογισμούς, δοκιμές και πειραματισμούς, η σύνταξη του σχηματικού διαγράμματος. Όταν γίνει η επιλογή του κατάλληλου τύπου και μεγέθους των βιομηχανικών συσκευών, συντάσσεται το κατασκευαστικό διάγραμμα και, στη συνέχεια, τα λεπτομερειακά σχέδια για την ανέγερση των κτιρίων του εργοστασίου και την τοποθέτηση των βιομηχανικών συσκευών, των βοηθητικών μηχανημάτων, των σωληνώσεων, των ηλεκτρικών δικτύων κλπ.

Ερωτήσεις και Ασκήσεις (Κεφάλαια 1 ως 4).

1. Τι ονομάζονται *πρώτες ύλες*, *βοηθητικές ύλες*, *ενδιάμεσα προϊόντα*, *τελικά προϊόντα*, *παρaproϊόντα* και *απόβλητα* της βιομηχανίας; Δώστε παραδείγματα.
2. Τι ονομάζεται *βιομηχανική συσκευή*, *βιομηχανική μονάδα* και *βιομηχανικό συγκρότημα*; Δώστε παραδείγματα.
3. Τι απαιτείται για την εξασφάλιση της καλής ποιότητας των βιομηχανικών προϊόντων;
4. Ποιοι παράγοντες διαμορφώνουν το κόστος παραγωγής των βιομηχανικών προϊόντων;
5. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα για την εγκατάσταση εργοστασίων σε οργανωμένες βιομηχανικές περιοχές;
6. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η επιλογή της μεθόδου που εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση βιομηχανικής παραγωγής;
7. Τι συντελείται κατά την παραγωγή των χημικών βιομηχανικών προϊόντων;
8. Τι επιδιώκει η χημική τεχνολογία και πού βασίζεται για την εξαγωγή των συμπερασμάτων της;
9. Τι προβλέψεις πρακτικής σημασίας πρέπει να γίνονται κατά την επιλογή των συνθηκών μιας διεργασίας ή το σχεδιασμό μιας βιομηχανικής συσκευής;
10. Δώστε παραδείγματα βιομηχανικών συσκευών αναφέροντας το υλικό με το οποίο τροφοδοτούνται, τη διεργασία που εκτελούν και το προϊόν που παρέχουν.
11. Σε τι διαφέρουν οι φυσικές από τις χημικές διεργασίες;
12. Ποιος είναι συνήθως ο προορισμός των φυσικών διεργασιών στη χημική βιομηχανία;
13. Τι προσφέρουν οι διαγραμματικές απεικονίσεις των βιομηχανικών διεργασιών;
14. Δώστε το σχηματικό και το κατασκευαστικό διάγραμμα ενός εργοστασίου που έχετε επισκεφθεί.

15. Για την παρασκευή 1000g ψωμιού απαιτείται το ψήσιμο 1100g αρτομάζας, που έχει σχηματισθεί από 670g αλεύρι, 400g νερό, 25g αλάτι, και 5g ζύμη. Να γράψετε το πλήρες **διάγραμμα ροής υλικών** της αρτοποιίας του σχήματος 1.1, υποθέτοντας ότι 100kg σιτάρι δίνουν 80kg αλεύρι και 20kg πίτουρα.
 16. Να προσαρμόσετε το **διάγραμμα ροής υλικών** της παραπάνω ασκήσεως, ώστε το παραγόμενο ψωμί να είναι λευκότερο και λιγότερο αλμυρό. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση αυτή, 100kg σιτάρι θα δίνουν μόνο 75kg αλεύρι και 25kg πίτουρα, στο δε έτοιμο ψωμί θα περιέχεται 1% αλάτι.
 17. Να εξηγήσετε γιατί σε μία βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου, όπως εκείνη που περιγράφεται στο σχημα 4.1α, δεν είναι δυνατός ο αποχωρισμός του τμήματος παραγωγής φαρίνας από το τμήμα παραγωγής κλίνκερ σε ανεξάρτητες βιομηχανικές μονάδες. (Να προσέξετε την αλληλοσύνδεση των διεργασιών στα δύο αυτά τμήματα).
-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

5.1 Γενικά.

Όπως είδαμε και στα προηγούμενα, κάθε βιομηχανική εγκατάσταση περιλαμβάνει μία σειρά από βιομηχανικές συσκευές, όπου εκτελούνται διάφορες διεργασίες για τη μετατροπή των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα. Επομένως είναι απαραίτητη η ύπαρξη επαρκών **αποθηκευτικών χώρων** για τη συγκέντρωση και διαφύλαξη των πρώτων υλών, καθώς και των ενδιάμεσων και των τελικών προϊόντων, μέχρι τη χρησιμοποίηση ή την αποστολή τους στην κατανάλωση. Έτσι εξασφαλίζεται η ομαλή τροφοδοσία και συνεχής λειτουργία της εγκαταστάσεως. Απαραίτητες είναι επίσης οι **μεταφορικές διατάξεις** για την κυκλοφορία των υλικών μεταξύ των αποθηκών και των διαδοχικών βιομηχανικών συσκευών, σύμφωνα με την πορεία της παραγωγικής διαδικασίας.

Θα παρατηρηθεί ίσως ότι δεν δικαιολογείται η κατάσταση της αποθηκείσεως και της μεταφοράς στις φυσικές διεργασίες, αφού αυτές δεν επιφέρουν καμιά αξιόλογη μεταβολή στη φυσική κατάσταση των υλικών. Η μόνη μεταβολή που ίσως ξιέρχεται στα υλικά αφορά στη δυναμική και την κινητική τους ενέργεια. Η παρατήρηση είναι βέβαια σωστή. Επειδή όμως πρόκειται για λειτουργίες στενά συνυφασμένες με την υπόλοιπη βιομηχανική δραστηριότητα, είναι χρήσιμο να τις εξετάσουμε μαζί με τις πραγματικές φυσικές διεργασίες, έστω και αν παραβιάζεται κάπως ο ορισμός που είχαμε δώσει προηγουμένως. Με την ευκαιρία, άλλωστε, ας τονίσουμε ότι, τα θέματα πρακτικών εφαρμογών, όπως αυτά που απασχολούν τη χημική τεχνολογία, επιδέχονται συνήθως μία κάποια ανεκτικότητα. Αρκεί βέβαια να έχουμε επίγνωση και έλεγχο ότι η ανεκτικότητα αυτή οδηγεί τα προβλήματά μας σε αποδεκτές λύσεις, σχεδόν εξ ίσου σωστές με εκείνες που ίσως θα βρίσκαμε ύστερα από πολύ περισσότερο κόπο και χρόνο. Αντίθετα, καμιά ανεκτικότητα δεν επιτρέπεται σε άλλους αυστηρότερους επιστημονικούς κλάδους, όπως η Χημεία, η Φυσική και τα Μαθηματικά.

Ιδιαίτερα μεγάλη σημασία για τη βιομηχανία, έχει συχνά η δυνατότητα αποθηκείσεως πρώτων υλών σε άφθονες ποσότητες. Για τεχνικούς και κυρίως οικονομικούς λόγους είναι προφανώς σκόπιμη η συνεχής λειτουργία των εργοστασίων, και μάλιστα σταθερά, στη μέγιστη δυνατή απόδοσή τους. Αυτό προϋποθέτει την απρόσκοπτη τροφοδοσία τους με πρώτες ύλες, ανεξάρτητα από τις προσωρινές ελλείψεις που μπορεί να παρουσιασθούν στην αγορά ή από τις διακυμάνσεις των τιμών. Συνήθως λοιπόν επιδιώκεται να υπάρχει ένα απόθεμα πρώτων υλών, αρκετό για τη λειτουργία του εργοστασίου επί 3 τουλάχιστον μήνες. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη για την ύπαρξη σημαντικών αποθηκευτικών χώρων. Πρέπει επίσης να υ-

πάρχει δυνατότητα αποθηκείσεως των ετοιμών προϊόντων του εργοστασίου, μέχρι να αποσταλούν στους τόπους καταναλώσεως.

Ανάλογη είναι και η σημασία των μεταφορικών διατάξεων μέσα στο εργοστάσιο. Τα υλικά, που χρειάζεται να μεταφερθούν από τη μία θέση στην άλλη, δεν είναι μόνο πρώτες ή βοηθητικές ύλες και ενδιάμεσα ή τελικά προϊόντα, αλλά επίσης και οι μεγάλες ποσότητες νερού, αέρα και υδρατμού, που θερμαίνουν, ψύχουν ή ρυθμίζουν τη λειτουργία των βιομηχανικών συσκευών, χωρίς να μετέχουν σε διεργασίες.

Το **μέγεθος** και η **μορφή** των βιομηχανικών αποθηκευτικών χώρων και των μεταφορικών διατάξεων εξαρτάται από τις ποσότητες και από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακινουμένων υλικών, όπως είναι η φυσική τους κατάσταση (στερεά, υγρά, αέρια), οι συνθήκες στις οποίες βρίσκονται (μεγάλη ή μικρή θερμοκρασία και πίεση), οι ειδικές προφυλάξεις που απαιτούν (εύφλεκτα, εκρηκτικά, διαβρωτικά ή ευαίσθητα υλικά) κλπ. Θα εξετάσουμε παρακάτω την αποθήκευση και μεταφορά των υλικών, ανάλογα με τη φυσική τους κατάσταση.

5.2 Αποθήκευση και μεταφορά των στερεών.

5.2.1 Αποθήκευση σε σωρούς και σιλό.

Στο παράδειγμα της βιομηχανίας τσιμέντου είδαμε ότι οι πρώτες ύλες αποθηκεύονται σε **σωρούς** στο ύπαιθρο (σχ. 5.2α). Είναι η οικονομικότερη μέθοδος αποθηκείσεως των στερεών υλικών και εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα, υπό την προϋπόθεση ότι δεν προσβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες. Ειδικότερα, τα υλικά αυτά δεν θα πρέπει να είναι ευδιάλυτα στο νερό ή να βρίσκονται σε μορφή ελαφρών και μικρών τεμαχίων, ώστε να μη παρασύρονται από τη βροχή ή τον άνεμο.

Η συγκράτηση των στερεών σε σταθερούς σωρούς εξαρτάται από τη σύσταση και το μέγεθος των τεμαχίων τους. Π.χ. για υγρή αργιλώδη μάζα, η γωνία ηρεμίας της πλευράς του σωρού, ως προς την οριζόντια (σχ. 5.2α) δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 17° , για τη στεγνή άμμο τις 30° , το κάρβουνο τις 35° , το χαλίκι τις 40° και για την υγρή άμμο τις 45° .



Σχ. 5.2α.

Η γωνία ηρεμίας ϕ ενός σταθερού σωρού στερεών υλικών.

Η παραλαβή των στερεών από το σωρό γίνεται με το φτυάρι ή, συνηθέστερα, με μηχανικά μέσα. Κατά μέσο όρο ένας εργάτης μεταφέρει με το φτυάρι βάρος 10 kg σε απόσταση 1,5 m με ρυθμό 15 φτυαρίσματα το λεπτό. Αν θελήσουμε να αποκτήσουμε μία ιδέα της μέσης ισχύος, που αναπτύσσει ένας εργάτης που φτυαρί-

ζει, βρίσκομε με εύκολο υπολογισμό ότι είναι περίπου 40 W! Η χρησιμοποίηση όμως ανθρώπων στις διάφορες εργασίες στο εργοστάσιο, δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται όπως των ασύχων μηχανημάτων. Πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερο αίσθημα ευθύνης. Π.χ. μεταφορά βαρών μεγαλύτερων από 50 kg πρέπει να αποφεύγεται, γιατί μπορεί να προκαλέσει στον εργαζόμενο οργανική βλάβη. Γενικά άλλωστε, οι εργασίες σε ένα εργοστάσιο πρέπει να γίνονται με μεγάλη προσοχή, ώστε να μην εκτίθενται οι εργαζόμενοι σε κινδύνους από πτώσεις υλικών, φλόγες, εκτονώσεις αερίων, ηλεκτροπληξίες κλπ. Δεν πρέπει να ξεχναμε ότι οι κίνδυνοι αυτοί είναι πάντα παρόντες στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οι αιτίες για σοβαρά ατυχήματα δυστυχώς άφθονες.

Η παραλαβή σχετικά μεγάλων ποσοτήτων στερεών από σωρούς γίνεται με μηχανικά μέσα και κυρίως με **κινητούς εκσκαφείς** και **φορτωτές, μηχανικά πτύα** (σχ. 5.2β), **γερανούς** και **γερανογέφυρες**. Στο σχ. 5.2γ εικονίζεται μία γερανογέφυρα ανυψωτικής ικανότητας 30 τόννων, που φορτώνει με την αρπάγη της μεταλλεύματα και άλλες πρώτες ύλες σε βαγόνια, για τη μεταφορά τους από τους υπαίθριους σωρούς στο εσωτερικό ενός μεγάλου μεταλλουργικού εργοστασίου.



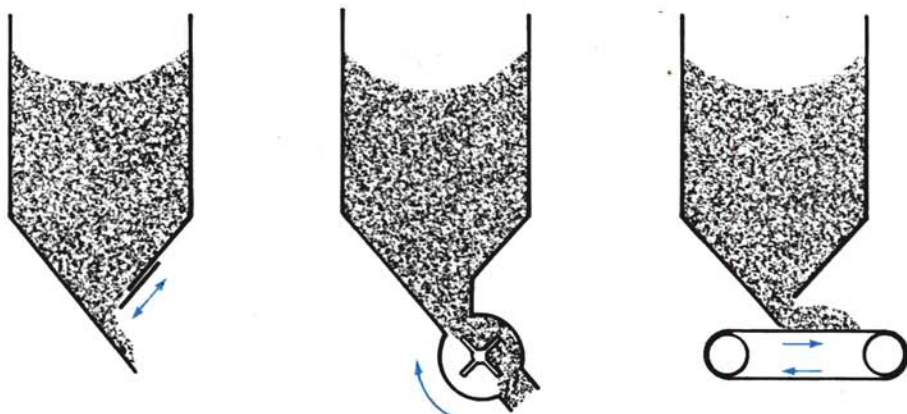
Σχ. 5.2β.

Επισκευή μεγάλου μηχανικού πτύου που κινείται σε ερπίστριες.

Τα στερεά, που χρειάζονται προστασία από τις καιρικές συνθήκες, αποθηκεύονται είτε σε σωρούς σε στεγασμένους χώρους είτε σε κυλινδρικές ή ορθογωνικές αποθήκες και δοχεία από χάλυβα ή από μπετόν. Οι αποθήκες και τα δοχεία αυτά ονομάζονται **σιλό** και έχουν συνήθως αρκετά μεγάλο ύψος ώστε να συνδυάζουν μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα με μικρή σχετικά κατάληψη επιφάνειας εδάφους. Η πλήρωση των σιλό γίνεται από το άνω μέρος, το υλικό κατέρχεται με τη βαρύτητα



Σχ. 5.2γ.
Υπαιθρια γερανοφόρα σε λειτουργία.



Σχ. 5.2δ.

Ρύθμιση της εξαγωγής του περιεχομένου των σιλό με σύρτη, περιστρεφόμενα πτερύγια και ατέρμονη ταινία.

και εξέρχεται από ρυθμιζόμενα στόμια, που βρίσκονται στον πυθμένα τους (σχ. 5.2δ και 5.2ιδ).

5.2.2 Μεταφορικές ταινίες και κοχλίες.

Η μεταφορά των στερεών (αλλά και των υγρών και των αερίων) μπορεί να γίνει είτε κατά δόσεις, είτε κατά συνεχή τρόπο. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τη μεταφορά με το φτυάρι, το καλάθι, το βαρέλι, το καρότσι, το βαγόνι και τα διάφορα άλλα ειδικά βιομηχανικά οχήματα (σχ. 5.2ε). Όταν όμως πρόκειται να μεταφερθούν σχετικά μεγάλες ποσότητες υλικών μέσα σε ένα εργοστάσιο και μάλιστα από στα-

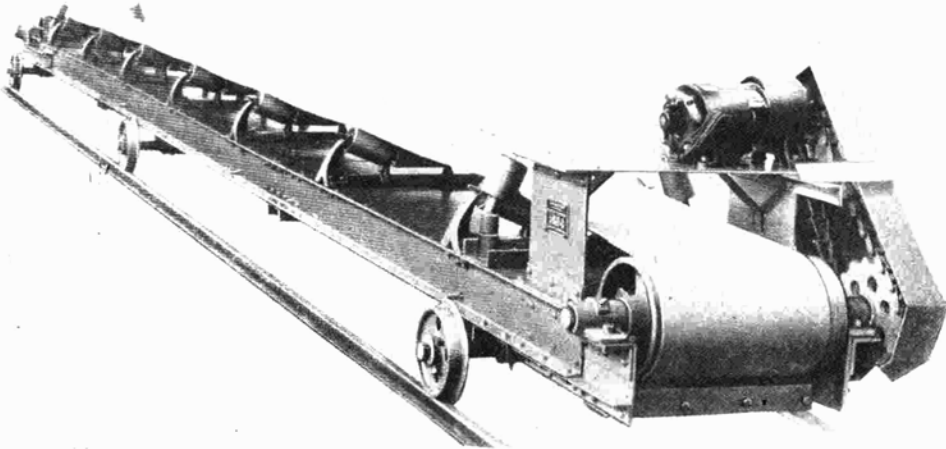


Σχ. 5.2ε.

Ένα περνοφόρο όχημα έχει ανυψώσει και μεταφέρει ένα μικρό σιλό αποθηκεύσεως στερεών. Οι τέσσερις κατακόρυφοι σωλήνες αποτελούν τα πόδια στηρίξεως του σιλό.

θερά σημεία παραλαβής σε σταθερά σημεία παραδόσεως, είναι πολύ πλεονεκτικότερη η μεταφορά τους με συστήματα συνεχούς λειτουργίας. Τα κυριότερα από αυτά είναι **οι μεταφορικές ταινίες, οι μεταφορικοί κοχλίες, τα λούκια, οι δονούμενοι μεταφορείς και τα συστήματα αερομεταφοράς.**

Οι **μεταφορικές ταινίες** κατασκευάζονται από ύφασμα, ενισχυμένο ελαστικό ή ακόμη από χαλύβδινα ελάσματα και κυλούν επάνω σε περιστρεφόμενα **ράουλα** (κύλιστρα), που τοποθετούνται σε αποστάσεις ανά 1 m περίπου. Η ταινία παίρνει κίνηση από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, που βρίσκεται στο ένα άκρο (σχ. 5.2στ).



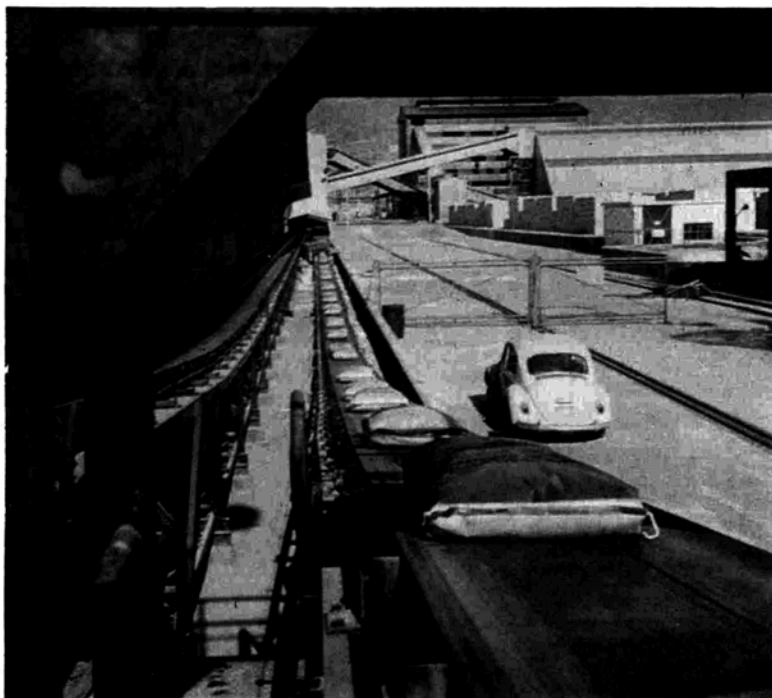
Σχ. 5.2στ.

Μεταφορική ταινία με δυνατότητα μετακινήσεως επάνω σε σιδηροτροχιές.

Όταν το μεταφερόμενο υλικό είναι σε μεγάλα τεμάχια ή συσκευασμένο σε σάκους, κιβώτια κλπ. τοποθετούνται ευθύγραμμα ράουλα, ώστε η επάνω επιφάνεια της ταινίας να καθίσταται επίπεδη καθώς σύρεται επάνω τους (σχ. 5.2ζ). Όταν όμως το υλικό μεταφέρεται χύμα, είναι προτιμότερη η τοποθέτηση των ραούλων υπό κλίση, ανά δύο ή τρία σε κάθε θέση στηρίξεως της ταινίας, ώστε να παίρνει το σχήμα σκάφης και να συγκρατεί το υλικό καλύτερα (σχ. 5.2στ και 5.2ιδ). Η μεταφορική ταινία του σχ. 5.2στ έχει επίσης τη δυνατότητα να κινείται επάνω σε σιδηροτροχιές, ώστε να μετατοπίζεται σε διάφορους χώρους του εργοστασίου. Το πλάτος των μεταφορικών ταινιών φθάνει μέχρι 1,5 m περίπου, η ταχύτητά τους μέχρι τα 2 m/s και η παροχή τους, ανάλογα με το ειδικό βάρος του υλικού, μπορεί να υπερβεί τους 3000 τόννους την ώρα.

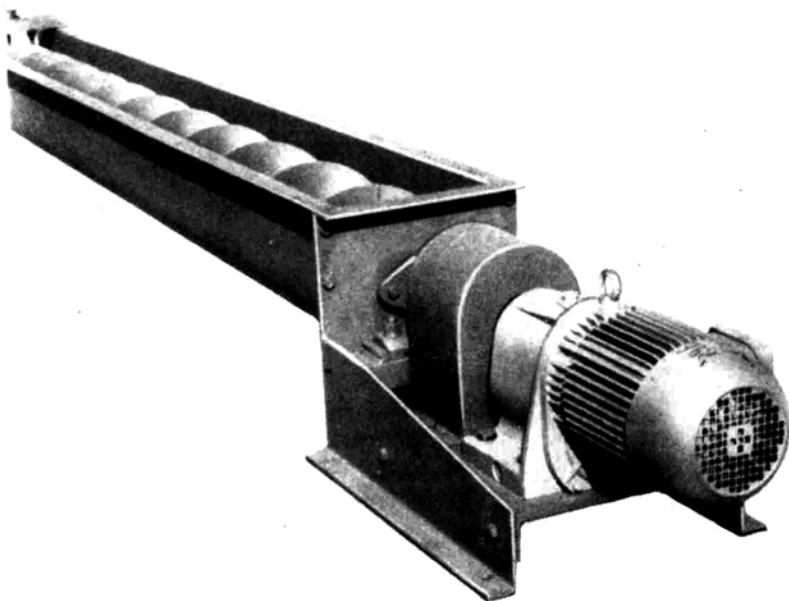
Συνηθέστερη είναι η χρήση των μεταφορικών ταινιών για την οριζόντια μεταφορά υλικών. Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν επίσης και για την ανύψωσή τους, αρκεί η κλίση να μην υπερβαίνει ένα μέγιστο όριο, για να μην προκαλείται ολίσθηση του υλικού προς τα πίσω. Το όριο αυτό εξαρτάται από το είδος και τη σύσταση του υλικού. Π.χ για στεγνή άμμο, η μέγιστη κλίση είναι 14°, για χαλίκια, μεταλλεύματα ή σιτάρι 18° και για υγρή άμμο 20°.

Για τη μεταφορά υλικών σε μορφή σκόνης ή λάσπης χρησιμοποιούνται συχνά οι **μεταφορικοί κοχλίες** ή **βίδες**. Πρόκειται για μία έλικα, που περιστρέφεται μέσα σε



Σχ. 5.2ζ.

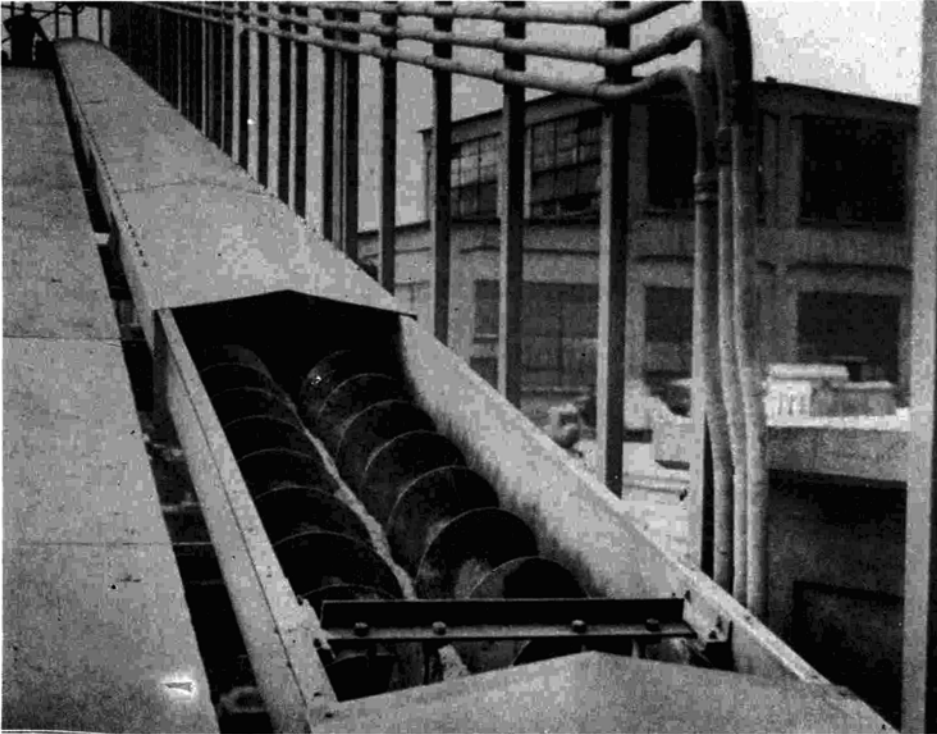
Μεταφορά σάκων με επίπεδη μεταφορική ταινία σε εργοστάσιο λιπασμάτων στη Βόρειο Ελλάδα.



Σχ. 5.2η.

Ένας μεταφορικός κοχλίας μέσα σε σκάφη και ο ηλεκτροκινητήρας του.

μία σκάφη ή ένα σωλήνα και προωθεί το υλικό από το ένα άκρο προς το άλλο (σχ. 5.2η). Για την αύξηση της παροχής, χρησιμοποιούνται επίσης δίδυμοι κοχλίες, τοποθετημένοι στην ίδια σκάφη (σχ. 5.2θ).



Σχ. 5.2θ.

Δίδυμος μεταφορικός κοχλίας σε εργοστάσιο τσιμέντου.

5.2.3 Αναβατόρια και λούκια.

Οι μεταφορικοί κοχλίες είναι κατάλληλοι για οριζόντιες μόνο μεταφορές. Για τις κατακόρυφες ανυψώσεις, χρησιμοποιούνται τα **αναβατόρια**, που αποτελούνται από μεταλλικά **κουβαδάκια** στερεωμένα σε αλυσίδες (σχ. 5.2ι). Η κίνηση δίνεται στις αλυσίδες από οδοντωτές τροχαλίες, που βρίσκονται στο άνω άκρο του αναβατορίου. Η ταχύτητα κινήσεως των αλυσίδων είναι 0,5 m/s περίπου.

Το σχήμα 5.2ια δείχνει τον τρόπο λειτουργίας των αναβατορίων και στο σχήμα 5.2ιβ ένα αναβατόριο τροφοδοτεί δύο σιλό μέσω μιας μεταφορικής ταινίας που κινείται στο επάνω μέρος τους. Τα κουβαδάκια γεμίζουν στο κάτω άκρο (δεν φαίνεται στη φωτογραφία), ανέρχονται από το δεξιό σκέλος, αδειάζουν στην κορυφή και κατέρχονται κενά από το αριστερό σκέλος του αναβατορίου.

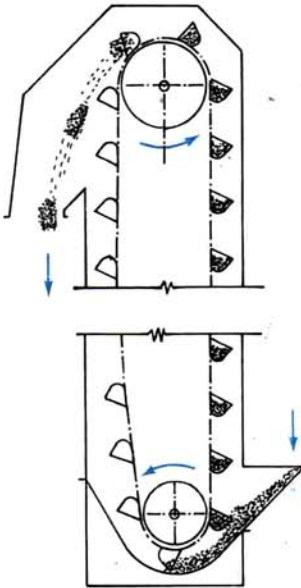
Όταν ένα υλικό πρόκειται να περάσει από πολλές διαδοχικές διεργασίες (π.χ. μία σειρά από θραύσεις, κοσκινίσματα, αλέσεις κλπ.) είναι συμφέρον από πλευράς καταναλώσεως ενέργειας να ανυψώνεται από την αρχή σε ένα υψηλό κτίριο, η δε

κάθοδός του από τη μία βιομηχανική συσκευή στην επόμενη να γίνεται με τη βαρύτητα. Καταλαβαίνουμε τώρα γιατί οι αλευρόμυλοι (πίσω αριστερά στη φωτογραφία του σχήματος 1.3) και το τμήμα προετοιμασίας της φαρίνας στη βιομηχανία τσιμέντου (αριστερά στη φωτογραφία του σχήματος 4.2γ) στεγάζονται σε τόσο υψηλά κτίρια.



Σχ. 5.2i.

Δύο συνηθισμένοι τρόποι για να συγκρατούνται τα κουβαδάκια στις αλυσίδες των αναβατηρίων.



Σχ. 5.2ia.

Ο τρόπος λειτουργίας των αναβατηρίων.



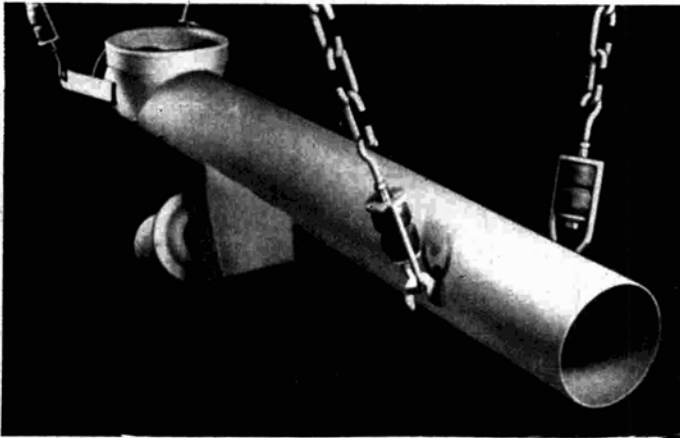
Σχ. 5.2ib.

Τροφοδότηση δύο σιλό από ένα αναβατήριο.

Το **Λούκι ελεύθερης ροής** είναι το απλούστερο μεταφορικό μέσο για την εκμετάλλευση της βαρύτητας. Είναι κατάλληλο για οποιοδήποτε στερεό, αρκεί να υπάρχει υψομετρική διαφορά μεταξύ του σημείου παραλαβής και του σημείου παραδόσεως του υλικού, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής κλίση για την ομαλή ροή ή ολίσηση. Όταν το στερεό εκπέμπει κατά την κίνησή του σκόνη στον αέρα, το λούκι κατασκευάζεται κλειστό, σαν σωλήνας, για να μην προκαλείται ενόχληση του περιβάλλοντος και απώλεια υλικού (σχ. 5.2iy).

5.2.4 Δονούμενοι μεταφορείς και συστήματα αερομεταφοράς.

Αν δεν υπάρχει επαρκής υψομετρική διαφορά για την ελεύθερη κάθοδο του στερεού υλικού, η προς τα κάτω μετατόπισή του υποβοηθείται με μηχανικές ή ηλεκτρομαγνητικές δονήσεις στο λούκι (τη σκάφη ή το σωλήνα) που μεταφέρει το υλικό. Οι παλινδρομικοί κραδασμοί προκαλούν με συνεχείς συγχρονισμένες αναπηδήσεις των κόκκων του υλικού, τη μετατόπισή του όχι μόνο προς τα κάτω, αλλά και σε οριζόντια κατεύθυνση, ακόμη και προς τα άνω μέχρι κλίσεως 15° . Οι **δονούμενοι μεταφορείς**, λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων τους, έχουν εκτοπίσει σε πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις τα άλλα συστήματα μηχανικής μεταφοράς. Είναι κατάλληλοι για τη μεταφορά κάθε είδους στερεών, εκτός αν είναι πολύ ελαφρά, ή πολτώδη ή αν κολλούν στα τοιχώματα της σκάφης. Δεν έχουν ανάγκη λιπάνσεως ή άλλης συντηρήσεως, είναι αθόρυβοι στη λειτουργία τους και πολύ οικονομικοί στην κατανάλωση ενέργειας. Φωτογραφίες δονουμένων μεταφορέων βλέπουμε στα σχήματα 5.2ιγ (δονούμενο λούκι) και 5.2ιδ (δονούμενοι τροφοδότες για την υποβοήθηση της εξαγωγής του περιεχομένου των σιλό από τα στομιά τους προς τη μεταφορική ταινία, που κινείται από κάτω). Η ανάρτησή τους γίνεται με ελαστικούς συνδέσμους, ώστε να δονούνται ελεύθερα με τις δονήσεις των ηλεκτρομαγνητικών διεγερτών, που φαίνονται στο πίσω μέρος τους.

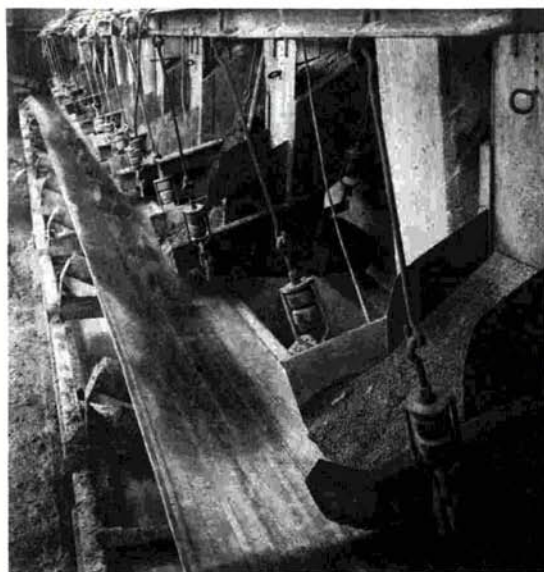


Σχ. 5.2ιγ.

Κλειστό δονούμενο λούκι μεταφοράς στερεών υλικών.

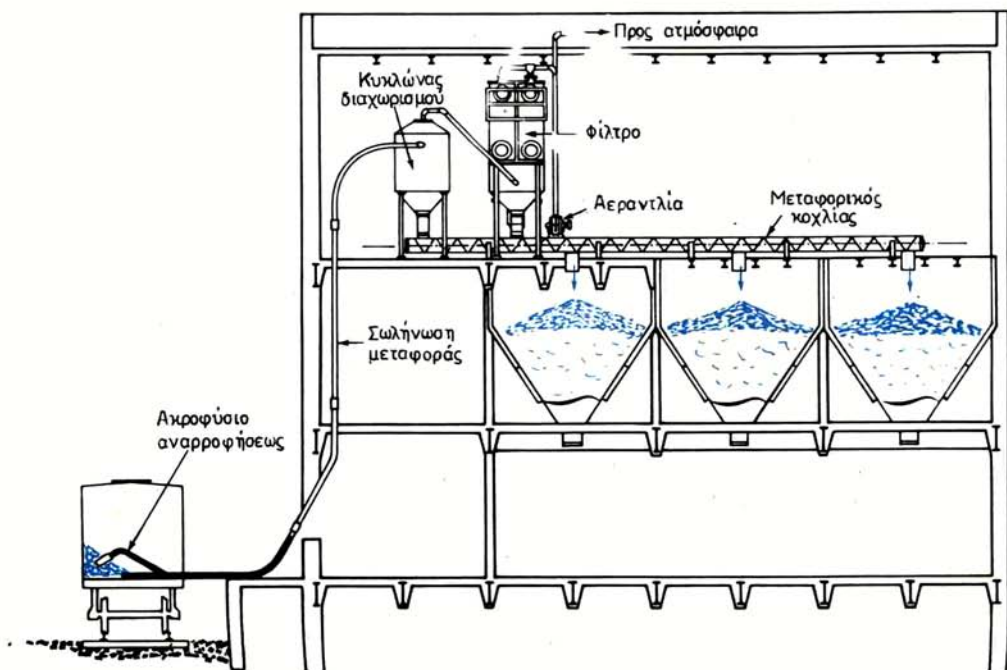
Σε αντίθεση προς τα λούκια ελεύθερης ροής, τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από όλες τις μεταφορικές συσκευές, για την εκτέλεση του ίδιου έργου, παρουσιάζουν τα **συστήματα αερομεταφοράς**. Έχουν όμως τα πλεονεκτήματα των σχετικά μικρών δαπανών εγκαταστάσεως, των πολύ μεγάλων παροχών και της δυνατότητας να ακολουθεί το υλικό οποιαδήποτε πολύπλοκη διαδρομή με πολλές στροφές, ανόδους και καθόδους, αν αυτό απαιτείται από τη διαρρύθμιση της βιομηχανικής εγκαταστάσεως.

Η αρχή της λειτουργίας των συστημάτων αερομεταφοράς είναι όμοια με της ηλεκτρικής σκούπας που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των πατωμάτων στα



Σχ. 5.2ιδ.

Σειρά σιλό με οκτώ στόμια εξαγωγής και δονητικούς τροφοδότες. Η παραλήθη του υλικού γίνεται από τη μεταφορική ταινία που κινείται κάτω από τα στόμιά τους.



Σχ. 5.2ιε.

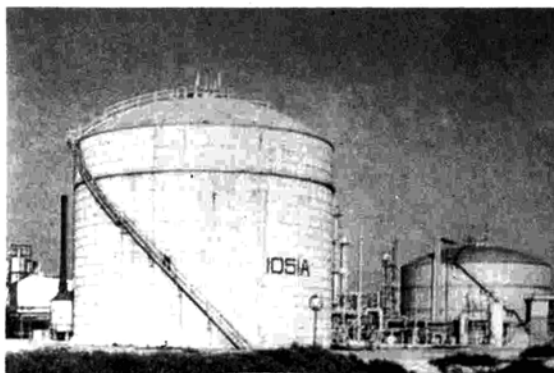
Σύστημα αερομεταφοράς στερεών από σιδηροδρομικά βαγόνια και διανομής τους, μέσω ενός μεταφορικού κοχλίας, στα τρία σιλό ενός βιομηχανικού κτιρίου.

σπίτια. Μία αναρροφητική αεραντλία δημιουργεί ένα ρεύμα αέρα, που κρατά σε αιώρηση το μεταφερόμενο στερεό, μέσα σε ένα σωλήνα. Ο σωλήνας καταλήγει σε ένα κυκλώνα, όπου γίνεται απόθεση του υλικού, η δε σκόνη, που τυχόν παρασύρεται ακόμη από τον αέρα, συγκρατείται σε φίλτρα (σχ. 5.2ιε). Τα συστήματα αερομεταφοράς ονομάζονται επίσης **συστήματα πνευματικής μεταφοράς** (πνεύμα = αέριο).

5.3 Αποθήκευση και μεταφορά των υγρών.

5.3.1 Αποθήκευση σε δοχεία και δεξαμενές.

Η αποθήκευση των υγρών γίνεται σε στεγανά **δοχεία** και **δεξαμενές**, που συγκοινωνούν συνήθως με την ατμόσφαιρα, ώστε να μην αναπτύσσεται υψηλή πίεση στο εσωτερικό τους από τους παραγόμενους ατμούς. Οι δεξαμενές κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα ή από μπετόν σε μεγέθη μέχρι πολλές δεκάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα (σχ. 5.3α και σχ. 5.3β).



Σχ. 5.3α.

Χαλύβδινες δεξαμενές για την αποθήκευση υγρής αμμωνίας, σε εργοστάσιο στη Β. Ελλάδα.

Πολλά υγρά απαιτούν ειδικές προφυλάξεις κατά την αποθήκευσή τους. Π.χ. οι δεξαμενές που προορίζονται για υγρά με σχετικά υψηλή τάση ατμών, όπως η ακετόνη, τοποθετούνται σε στεγασμένους χώρους και ψύχονται κατά τους θερινούς μήνες με εξωτερικό καταιονισμό νερού. Για την αποθήκευση υγροποιημένων αερίων χρησιμοποιούνται ειδικές δεξαμενές, εφοδιασμένες με ψυκτική εγκατάσταση, όπως οι εικονιζόμενες στο σχήμα 5.3α, όπου η θερμοκρασία διατηρείται στους -34°C , ώστε, στο παράδειγμα του σχήματος, να μην εξαερώνεται η υγρή αμμωνία. Αντίθετα, τα υγρά που στερεοποιούνται ή καθίστανται πολύ παχύρρευστα, όταν πέσει κάπως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όπως το μαζούτ, αποθηκεύονται σε δεξαμενές με εσωτερική σωλήνωση ή εξωτερικό μανδύα, για την κυκλοφορία θερμού νερού ή ατμού, κατά τις ψυχρές εποχές. Τα εύφλεκτα υλικά αποθηκεύονται σε σχετικά μεγάλη απόσταση από το εργοστάσιο και κατά προτίμηση σε υπό-



Σχ. 5.3β.

Συγκρότημα 12 μεγάλων δεξαμενών από μπετόν, σε διάφορα στάδια της κατασκευής τους.

γειες δεξαμενές, για την αποφυγή μεταδόσεως πυρκαϊάς. Είναι σκόπιμο οι δεξαμενές αυτές να έχουν ηλεκτρική γείωση, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας σπινθήρων από την τριβή μετάλλων και αναφλέξεως του αποθηκευμένου υγρού ή των ατμών του.

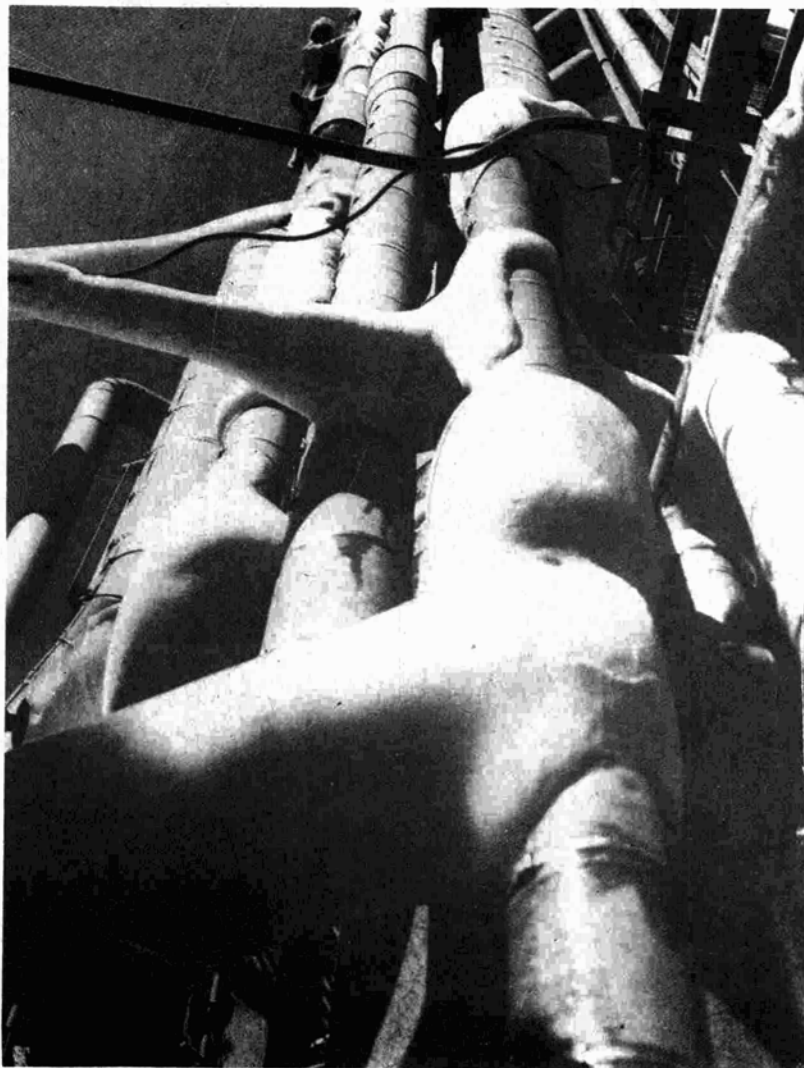
Ανεξάρτητα από τις παραπάνω ή και άλλες προφυλάξεις, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις πρέπει να είναι επίσης εξοπλισμένες και με αποτελεσματικά πυροσβεστικά μέσα. Τέτοια μέσα είναι το δίκτυο νερού με ειδική αντλία υψηλής παροχής και πιέσεως, οι εύκαμπτοι σωλήνες με εκτοξευτήρες νερού και οι φορητοί πυροσβεστήρες. Στα μέσα αυτά περιλαμβάνονται ακόμη και τα συστήματα αυτόματης πυροσβέσεως με ανίχνευση της πυρκαϊάς από την παρουσία καπνού ή την τοπική άνοδο της θερμοκρασίας. Η φροντίδα για την έγκαιρη καταπολέμηση της πυρκαϊάς αποβλέπει στη διάσωση κυρίως ανθρωπίνων ζωών, αλλά και στην προστασία πολύτιμων υλικών και εγκαταστάσεων.

5.3.2 Μεταφορά με σωληνώσεις.

Η μεταφορά των υγρών μπορεί να γίνει κατά δόσεις με βυτιοφόρα αυτοκίνητα, με βαρέλια ή με δοχεία, συνήθως όμως είναι ευκολότερη και οικονομικότερη με τη χρησιμοποίηση σωληνώσεων. Οι **σωληνώσεις** κατασκευάζονται από τεμάχια σωληνών, το μήκος των οποίων είναι περίπου 6 έως 12 m. Συνδέονται μεταξύ τους στεγανά με κοχλίωση ή συγκόλληση ή με πρόσθετους αντικρυστούς μεταλλικούς δίσκους, τις φλάντζες (σχ. 5.4ε). Το μέγεθος των σωληνών χαρακτηρίζεται από τη διάμετρο και το πάχος τους. Η διάμετρος εκφράζεται συχνά σε ίντσες, που

δεν αποδίδουν όμως πάντοτε την πραγματική τους διάμετρο, αλλά ακολουθούν ορισμένους συμφωνημένους κανονισμούς. Π.χ. ένας χαλύβδινος σωλήνας «2 ιντσών», για δίκτυο σχετικά χαμηλής πίεσης, κατασκευάζεται με εξωτερική διάμετρο 2,375 ιντσών (δηλαδή 60,325 mm) και εσωτερική 2,067 (δηλαδή 52,50 mm). Η αλλαγή της διεύθυνσεως ή της διαμέτρου της σωληνώσεως καθώς οι διακλαδώσεις και συνδέσεις με τις διάφορες συσκευές, μηχανήματα και όργανα, γίνονται με τη βοήθεια καταλλήλων εξαρτημάτων (σχ. 5.4ε).

Όταν μία σωλήνωση χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμών υγρών ή αερίων, πρέπει να περιβάλλεται με **θερμομονωτικό υλικό**, ώστε να περιορίζονται κα-



Σχ. 5.3γ.

Θερμομονωμένες σωληνώσεις μεταφοράς ψυχρού αιθυλενίου σε βιομηχανία της περιοχής Θεσσαλονίκης.

τά το δυνατό οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον. Απώλειες θερμότητας έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του μεταφερόμενου ρευστού και τη σπατάλη ενέργειας. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για τη μεταφορά ψυχρών ρευστών. Η θερμική μόνωση της σωληνώσεως εμποδίζει και στην περίπτωση αυτή την απώλεια της ενέργειας, που θα προκαλούσε η απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον προς το μεταφερόμενο ψυχρό ρευστό. Στο σχήμα 5.3γ βλέπουμε μία σχετική εφαρμογή με μέτρια επιτυχία. Το ψυχρό υγρό που διακινείται στις σωληνώσεις έχει προκαλέσει το σχηματισμό πάγου σε πολλά σημεία της επιφάνειάς τους. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η θερμική τους μόνωση είναι ανεπαρκής.

5.3.3 Όργανα φραγής.

Η διακοπή ή η ρύθμιση της ροής των υγρών στις σωληνώσεις γίνεται με τα **όργανα φραγής**, δηλαδή τους κρουνοούς, τους διακόπτες, τις βάννες με σύρτη και τις βάννες μοναδικής φοράς (σχ. 5.3δ). Σε όλα αυτά τα όργανα υπάρχει μια ακίνητη λεία επιφάνεια, η **έδρα**, όπου εφαρμόζεται κατά βούληση ένα αντίστοιχα διαμορφωμένο κινητό εξάρτημα, που διακόπτει εντελώς την παροχή ή επιτρέπει τη διέλευση μιας ποσότητας υγρού, ανάλογης προς το άνοιγμα που αφήνει.



Σχ. 5.3δ.

Τρία όργανα φραγής των σωληνώσεων.

α) Διακόπτης. β) Βάννα με σύρτη. γ) Βάννα μοναδικής φοράς.

Ο **κρουνοός** είναι το απλούστερο όργανο φραγής των σωληνώσεων. Αποτελείται ουσιαστικά από ένα περιστρεφόμενο κωνικό διάτρητο πώμα, που επιτρέπει τη ροή του υγρού, όταν ο άξονας της τρύπας είναι παράλληλος προς τη σωλήνωση και τη διακόπτει όταν γίνεται κάθετος προς αυτή. Είναι δηλαδή όμοιος με τις γυάλινες στρόφιγγες των εργαστηριακών συσκευών. Μεγάλο πλεονέκτημα του κρουνοου είναι η δυνατότητα να ανοίγει και να κλείνει τη σωλήνωση με μία ταχεία κίνηση. Μειονέκτημά του είναι η σχετικά μεγάλη επιφάνεια προσαρμογής, μεταξύ του κωνικού πώματος και της έδρας που το περιβάλλει, με αποτέλεσμα να σφίγγει δυνατά

και να είναι συχνά δύσχρηστος.

Στους **διακόπτες**, δηλαδή τις συνηθισμένες βρύσες, η έδρα είναι ένας δακτύλιος και το κινητό εξάρτημα ένας δίσκος που ανυψώνεται ή κατεβαίνει με τη βοήθεια μιας βιδωτής ράβδου με χειροτροχό. Τα μειονεκτήματα των κρουνών (δύσκολος χειρισμός στη ρύθμιση της παροχής του υγρού) δεν παρουσιάζονται στους διακόπτες. Αντίθετα, είναι εύκολη η ανύψωση του δίσκου σε ενδιάμεσες θέσεις, ώστε να ρυθμίζεται με ακρίβεια η ποσότητα του υγρού, που πρέπει να διέρχεται από το διακόπτη. Το μειονέκτημα των διακοπών είναι ότι για το πλήρες άνοιγμα ή κλείσιμό τους χρειάζονται πολλές στροφές του χειροτροχού, πράγμα που καθιστά τα όργανα αυτά ακατάλληλα για την πραγματοποίηση ταχέων χειρισμών. Επίσης, η αλλαγή της πορείας που χρειάζεται να εκτελέσει το υγρό κατά τη διέλευσή του από ένα διακόπτη (όπως φαίνεται και στη φωτογραφία του), καθώς και η σχετικά μικρή απόσταση μεταξύ έδρας και δίσκου, μπορούν να προκαλέσουν το βούλωμά του, αν στο υγρό υπάρχουν αιωρήματα στερεών.

Τέτοιος κίνδυνος δεν παρουσιάζεται στις **βάννες με σύρτη**, γιατί, όταν ανυψωθεί ο σύρτης, αφήνει εντελώς ελεύθερη τη δίοδο του υγρού στο εσωτερικό του. Έχουν όμως και αυτές το μειονέκτημα του αργού χειρισμού. Και εδώ η άνοδος και η κάθοδος του σύρτη γίνεται, όπως στους διακόπτες, με μία βιδωτή ράβδο και την περιστροφή χειροτροχού.

Οι **βάννες μοναδικής φοράς** (ή **βαλβίδες αντεπιστροφής**, όπως επίσης ονομάζονται) είναι αυτόματα όργανα, που επιτρέπουν τη ροή μόνο κατά μία διεύθυνση εμποδίζοντας την αναστροφή της φοράς της. Ανοίγουν με την πίεση του υγρού και, μόλις αυτή σταματήσει ή τείνει να αντιστραφεί η φορά της, κλείνουν με την επίδραση της βαρύτητας ή ενός ελατηρίου σε μία σφαίρα, ή ένα κλαπέτο.

5.3.4 Αντλίες μεταφοράς υγρών.

Όταν δεν υπάρχει ευνοϊκή διαφορά στάθμης, η προώθηση των υγρών στις σωληνώσεις γίνεται με τη χρησιμοποίηση **αντλιών**. Η μετάδοση της ενέργειας από την αντλία προς το υγρό της σωληνώσεως γίνεται είτε με την εκτόπισή του, είτε με την εκμετάλλευση της φυγόκεντρης δυνάμεως.

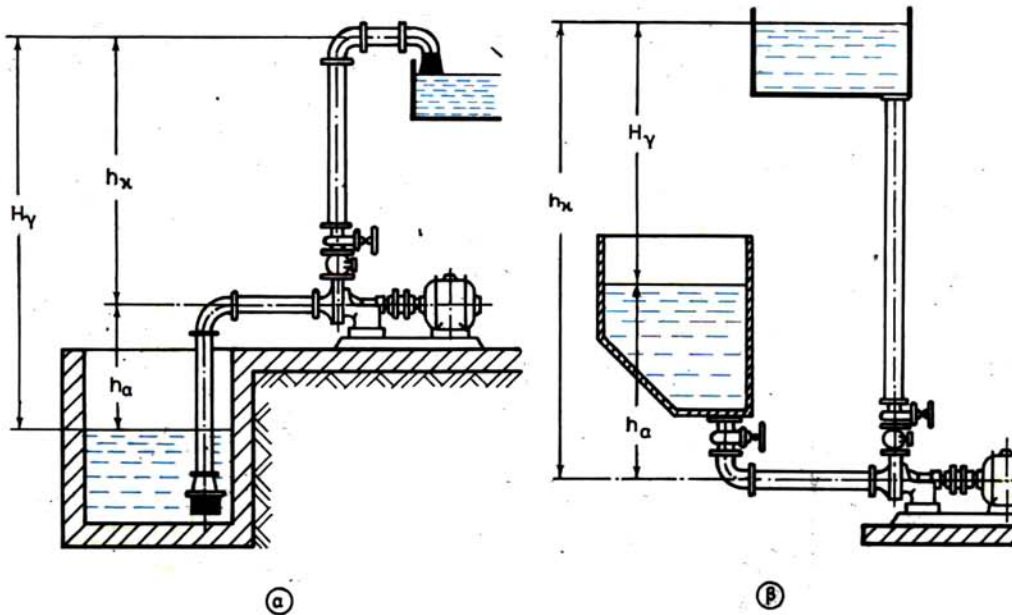
Όλες οι αντλίες έχουν ένα **στόμιο αναρροφήσεως**, από όπου εισέρχεται το υγρό, και ένα **στόμιο καταθλίψεως**, από όπου το υγρό διοχετεύεται στη σωληνώση μεταφοράς του. Κατά τη λειτουργία των αντλιών, δημιουργείται μία ελάττωση της πιέσεως του υγρού στο στόμιο αναρροφήσεως. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή του στο εσωτερικό της αντλίας, υπό την επίδραση της εξωτερικής πιέσεως. Επομένως, όταν μία αντλία αναρροφά υγρό, που βρίσκεται σε χαμηλότερη στάθμη, το ύψος αναρροφήσεως αναγκαστικά δεν μπορεί να υπερβεί το ύψος που αντιστοιχεί στην ατμοσφαιρική πίεση, δηλαδή θεωρητικά τα 10m στήλης νερού. Στην πραγματικότητα, λόγω των διαφόρων απωλειών, το μέγιστο ύψος αναρροφήσεως των αντλιών περιορίζεται συνήθως στα 6 έως 8m στήλης νερού, ανάλογα με τον τύπο της αντλίας και τη διάμετρο της σωληνώσεως. Για το ύψος καταθλίψεως, αντίθετα, δεν υπάρχει μέγιστο θεωρητικό όριο, αλλά περιορίζεται μόνο από τη μηχανική αντοχή της αντλίας. Όταν απαιτείται πολύ υψηλή πίεση στην κατάθλιψη, χρησιμοποιούνται συνήθως **πολυβάθμιες αντλίες**, στις οποίες η πίεση αυξάνει διαδοχικά από ένα θάλαμό τους στον επόμενο.

Η ενέργεια που μεταδίδει η αντλία στο υγρό δεν καταναλώνεται μόνο για τη δημιουργία των διαφορών πίεσης στην αναρρόφηση και την κατάθλιψη, αλλά και για την υπερνίκηση των διαφόρων αντιστάσεων στις σωληνώσεις. Η ενέργεια αυτή εκφράζεται συνήθως ανά kg μάζας αντλούμενου υγρού, σε αντίστοιχο ύψος στήλης του υγρού και ονομάζεται **μανομετρικό ύψος** της αντλίας. Στο παράδειγμα του σχήματος 5.3ε(α), το μανομετρικό ύψος της αντλίας (H) θα ισούται με το άθροισμα του **ύψους αναρρόφησης** (h_a), δηλαδή την υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης αναρρόφησης και του άξονα της αντλίας, του **ύψους καταθλίψεως** (h_k), δηλαδή την υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης καταθλίψεως και του άξονα της αντλίας, και του **ύψους τριβών** (h_T), που αντιστοιχεί στις αντιστάσεις ροής του υγρού στις σωληνώσεις αναρρόφησης και καταθλίψεως:

$$H = h_a + h_k + h_T$$

Το άθροισμα των υψών αναρρόφησης και καταθλίψεως αποτελεί το **γεωμετρικό ύψος** (H_Y) της πραγματοποιούμενης αντλήσεως, δηλαδή την υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης στη δεξαμενή αναρρόφησης και της στάθμης στη δεξαμενή καταθλίψεως ή στο σημείο αποχύσεως του υγρού:

$$H_Y = h_a + h_k$$



Σχ. 5.3ε.

Αντληση υγρού από δεξαμενή με στάθμη χαμηλότερα (α) και υψηλότερα (β) από τον άξονα της αντλίας.

Όταν η στάθμη της αναρρόφησης είναι υψηλότερα από τον άξονα της αντλίας,

όπως στο σχήμα 5.3ε(β), για τον υπολογισμό του μανομετρικού ύψους, το ύψος αναρροφήσεως δεν προστίθεται στο ύψος καταθλίψεως, αλλά αφαιρείται από αυτό:

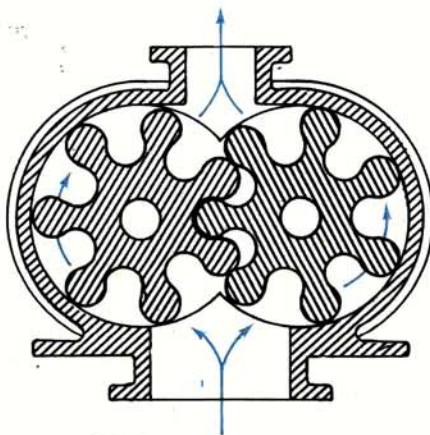
$$H = h_k - h_a + h_T$$

Έτσι το μανομετρικό ύψος ισούται πάλι με το άθροισμα του γεωμετρικού ύψους (τώρα $H_v = h_k - h_a$) και του ύψους τριβών.

Είπαμε παραπάνω ότι οι αντλίες είτε **εκτοπίζουν** το αντλούμενο υγρό, προωθώντας το μέσα στο θάλαμό τους και στη σωλήνωση της καταθλίψεως, είτε του μεταδίνουν **φυγόκεντρη δύναμη**, που το παρασύρει επίσης προς τη σωλήνωση της καταθλίψεως.

Ανάλογα με τον τρόπο εκτοπίσεως του υγρού και το είδος του θάλαμού τους, οι **αντλίες εκτοπίσεως** διακρίνονται σε δύο κυρίως κατηγορίες, τις **παλινδρομικές** και τις **περιστροφικές**.

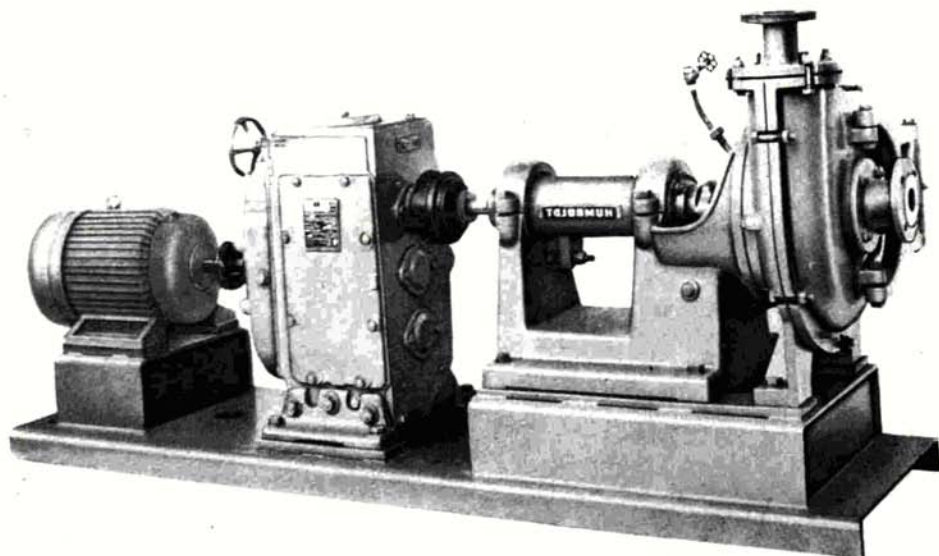
Οι παλινδρομικές αντλίες αναρροφούν και παγιδεύουν μία ποσότητα μέσα σε ένα σταθερό κυλινδρικό θάλαμο και, στη συνέχεια, την εκτοπίζουν με ένα έμβολο προς το στόμιο καταθλίψεως. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των στομιών αναρροφήσεως και καταθλίψεως γίνεται εναλλάξ, με βάννες μοναδικής φοράς. Αντίθετα, στις **περιστροφικές αντλίες** η παγίδευση του υγρού γίνεται σε κινητό θάλαμο, που σχηματίζεται από την περιστροφή οδοντωτών τροχών (σχ. 5.3στ) ή ελίκων. Η προώθηση του υγρού γίνεται χωρίς τη χρησιμοποίησή βαννών για τον έλεγχο των στομιών της αντλίας.



Σχ. 5.3στ.

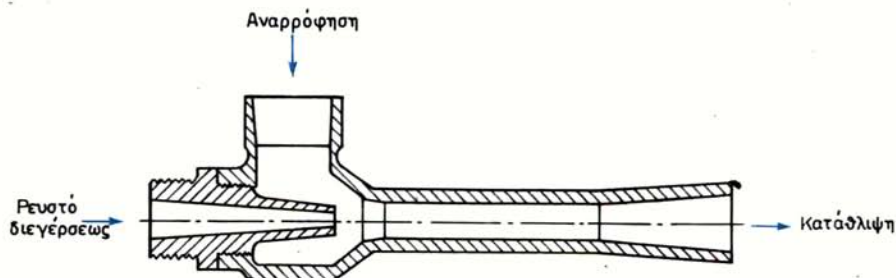
Περιστροφική αντλία με δύο συνεργαζόμενους οδοντωτούς τροχούς.

Το βασικό εξάρτημα των **φυγοκέντρων αντλιών** (σχ. 5.3ζ) είναι η **περωτή**, δηλαδή ένας δίσκος με περύγια, που περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα και με την αναπτυσσόμενη φυγόκεντρη δύναμη εκτινάσσει το υγρό προς τα έξω. Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής της περωτής, δίνει τη δυνατότητα της απ' ευθείας συνδέσεως του άξονα της φυγόκεντρης αντλίας με τον άξονα ηλεκτροκινητήρα, χωρίς τη μεσολάβηση μηχανισμού μειώσεως των στροφών, που είναι απαραίτητη στις βραδύτερες αντλίες εκτοπίσεως. Σε πολλές όμως περιπτώσεις, είναι σκόπιμη η παρεμ-



Σχ. 5.3ζ.

Φυγόκεντρη αντλία με τον ηλεκτροκινητήρα της και ενδιάμεσα το ρυθμιστή της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής της.



Σχ. 5.3η.

Τομή ενός εγχυτήρα.

βολή ενός ρυθμιστή ταχύτητας (π.χ. με τροχαλίες και ιμάντες), ώστε η λειτουργία της αντλίας να μπορεί να προσαρμόζεται κάθε φορά στις αντλητικές ανάγκες (μανομετρικό ύψος και παροχή του υγρού) που καλείται να αντιμετωπίσει.

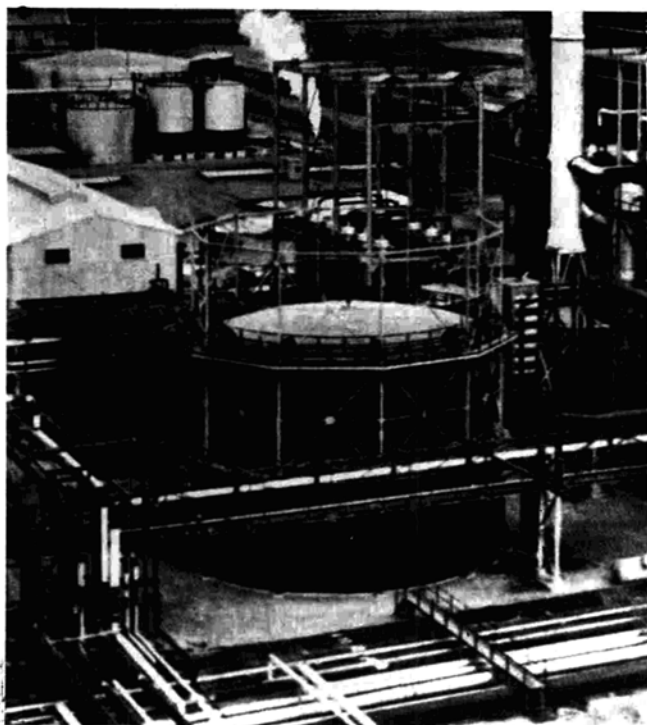
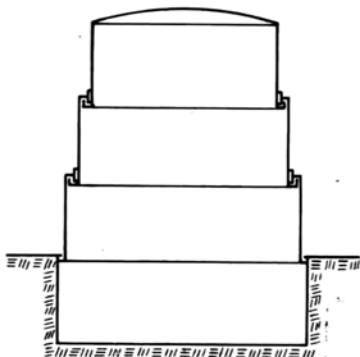
Σημαντικό πλεονέκτημα των φυγόκεντρων αντλιών είναι η δυνατότητα της κατά βούληση ρυθμίσεως, ή ακόμη και διακοπής της ροής στη σωλήνωση καταθλίψεως, χωρίς να προκαλείται βλάβη στην αντλία ή τη σωλήνωση. Αντίθετα, στις αντλίες εκτοπίσεως, η μείωση ή η διακοπή της ροής στη σωλήνωση ενώ αυτές παραμένουν ακόμη σε λειτουργία, δημιουργεί μεγάλη αύξηση της πίεσεως στο εσωτερικό της αντλίας και στο δίκτυο, με κίνδυνο να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στην εγκατάσταση.

Ένας ειδικός τύπος αντλίας, που δεν έχει καθόλου κινητά μέρη και επομένως δεν παρουσιάζει προβλήματα λειτουργίας και συντηρήσεως, είναι ο **εγχυτήρας** (σχ. 5.3η). Βασίζεται στη διοχέτευση ενός ρευστού (νερό, αέρας, ατμός κλπ.), που ονομάζεται **ρευστό διεγέρσεως** και βρίσκεται σε υψηλή πίεση, σε ένα σωλήνα, ο οποίος παρουσιάζει προοδευτική μείωση της διατομής του. Έτσι, το ρευστό διεγέρσεως αποκτά μεγάλη ταχύτητα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία υποπίεσεως στο στόμιο αναρροφήσεως του εγχυτήρα, από όπου εισέρχεται το προς άντληση υγρό και παρασύρεται, μαζί με το ρευστό διεγέρσεως, προς το στόμιο της καταθλίψεως. Όταν το ρευστό διεγέρσεως είναι ατμός υπό πίεση, ο εγχυτήρας ονομάζεται συνήθως **τζιφάρι**.

5.4 Αποθήκευση και μεταφορά των αερίων.

5.4.1 Αποθήκευση σε αεριοφυλάκεια, δοχεία πίεσεως και δεξαμενές.

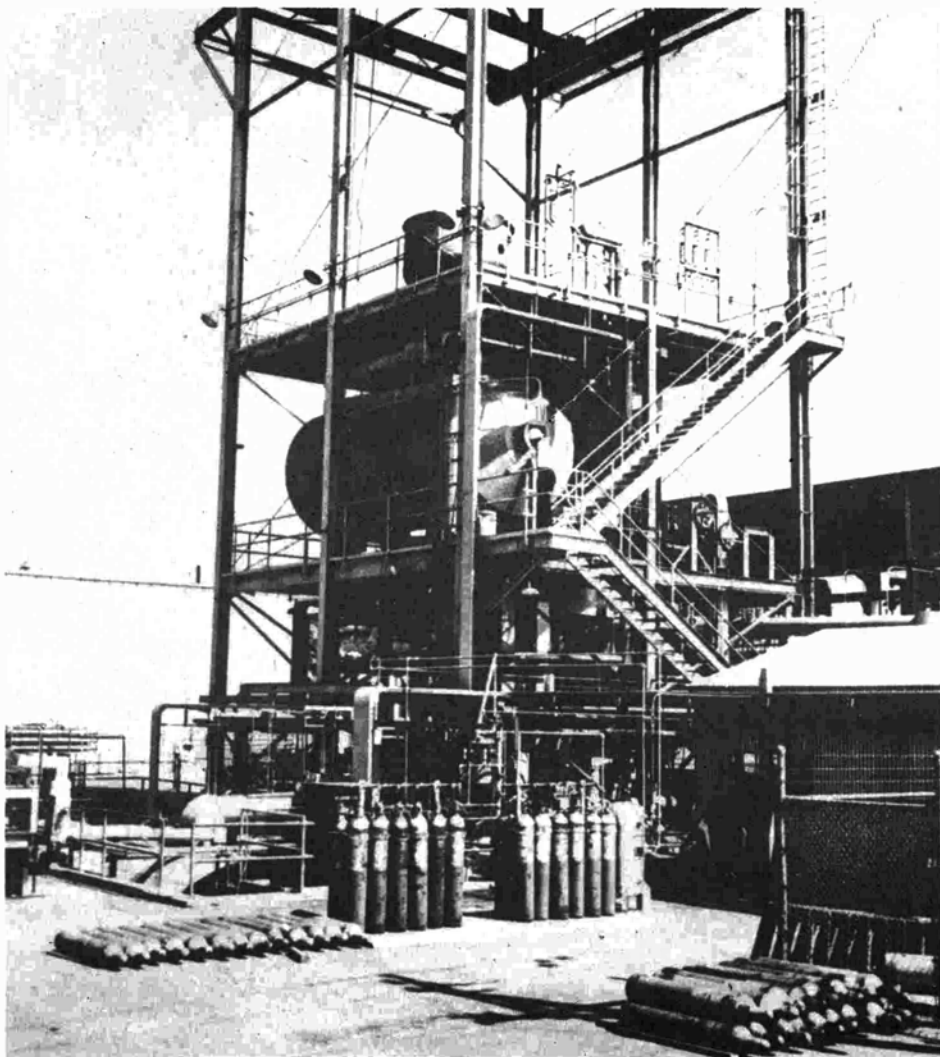
Τα αέρια αποθηκεύονται είτε υπό ατμοσφαιρική πίεση, είτε υπό αυξημένες πιέσεις. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται μεγάλα **αεριοφυλάκια**, χωρητικότητας πολλών χιλιάδων ή και εκατοντάδων χιλιάδων κυβικών μέτρων, που έχουν κινητή ή τηλεσκοπικά εκτεινόμενη στέγη. Έτσι ο όγκος τους προσαρμόζεται αυτόματα στην ποσότητα του αποθηκευμένου αερίου (σχ. 5.4α). Συνηθέστερα όμως, η



Σχ. 5.4α.

Αριστερά σχέδιο και δεξιά φωτογραφία αεριοφυλακίου σε ένα εργοστάσιο παραγωγής υδρογόνου από γαιάνθρακα.

αποθήκευση των αερίων γίνεται υπό αυξημένη πίεση, ώστε να καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται **δοχεία πίεσεως** ή φορητές χαλύβδινες κυλινδρικές **φιάλες** ή **οβίδες** (σχ. 5.4β) με ισχυρά τοιχώματα, για την εξασφάλιση αντοχής. Είναι απαραίτητος ο συχνός έλεγχος της καλής καταστάσεως των τοιχωμάτων, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διαρρήξεως λόγω διαβρώσεως ή φθοράς τους.



Σχ. 5.4β.

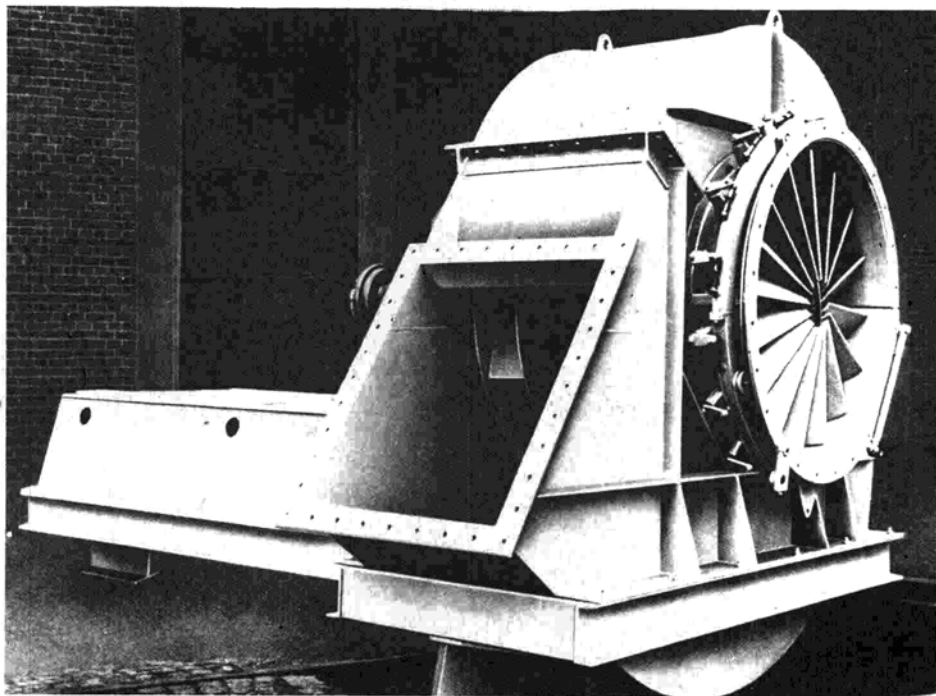
Φιάλες οξυγόνου και ακετυλενίου υπό πίεση, συγκεντρωμένες για την εκτέλεση συγκολλήσεων, κατά τη συναρμολόγηση μιας βιομηχανικής εγκαταστάσεως.

Μεγάλη διάδοση έχει αποκτήσει τελευταία η **κρυογενής αποθήκευση** των αερίων όπου, με ισχυρή ψύξη, προκαλείται υγροποίησή τους υπό ατμοσφαιρική πίεση και η διατήρησή τους σε δεξαμενές υπό μορφή υγρών, όπως είδαμε στο σχήμα 5.3α. Με αυτό τον τρόπο, συνδυάζεται ο μικρός όγκος αποθηκεύσεως με την αποφυγή των κινδύνων που συνεπάγονται οι υψηλές πιέσεις. Απαιτείται όμως σημαντική δαπάνη ενέργειας για την πραγματοποίηση των χαμηλών θερμοκρασιών.

5.4.2 Αεραντλίες και συμπιεστές.

Η μεταφορά των αερίων γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως και η μεταφορά των υγρών, που περιγράψαμε παραπάνω, όσο τουλάχιστον επιτρέπουν οι ιδιομορφίες των δύο αυτών διαφορετικών φυσικών καταστάσεων. Π.χ. οι ταχύτητες ροής των αερίων στις σωληνώσεις φθάνουν συνήθως τα 10 έως 20 m/s, ενώ των υγρών δεν υπερβαίνουν τα 2 m/s.

Η προώθηση των αερίων στις σωληνώσεις και τους μεγάλους αεραγωγούς γίνεται με μονοβάθμιους ή πολυβάθμιους **συμπιεστές** ή **αεραντλίες**. Όπως και στην άντληση των υγρών, οι συμπιεστές διακρίνονται κυρίως σε μηχανές εκτόπισεως, δηλαδή τους **παλινδρομικούς** και τους **περιστροφικούς**, και σε **φυγοκεντρικούς συμπιεστές** ή **φουσητήρες** (σχ. 5.4γ). Οι πρώτοι παράγουν υψηλότερες πιέσεις, ενώ



Σχ. 5.4γ.

Αποσυαρμολογημένος φυγοκεντρικός αεροσυμπιεστής με κινητά περύγια στο στόμιο αναρροφήσεως (δεξιά), για τη ρύθμιση του ανοίγματός του. Από το ανοικτό στόμιο καταθλίψεως φαίνεται μία από τις περιστρεφόμενες πτερωτές του αεροσυμπιεστή. Το αριστερό μέρος της βάσεως προορίζεται για την τοποθέτηση του ηλεκτροκινητήρα.

οι δεύτεροι είναι απλούστεροι στη λειτουργία και έχουν μικρότερες ανάγκες συντηρήσεως. Η κίνηση στους συμπιεστές δίνεται από ηλεκτροκινητήρες, πετρελαιοκινητήρες ή και ατμομηχανές. Για τη δημιουργία κενού, χρησιμοποιούνται επίσης **εγχυτήρες**, όμοιοι στην κατασκευή και λειτουργία με εκείνους που γνωρίσαμε στην άντληση των υγρών (σχ. 5.3η).

Δύο δίκτυα σωληνώσεων αερίων που συναντάμε σε όλα σχεδόν τα εργοστάσια είναι του **πεπιεσμένου αέρα** και του **υδρατμού**. Ο πεπιεσμένος αέρας παράγεται από αεροσυμπιεστές και χρησιμοποιείται για τη λειτουργία εργαλείων και συστημάτων αυτοματισμού, την αερομεταφορά στερεών, την ανατάραξη υγρών, την καύση καυσίμων σε εστίες και καυστήρες κλπ. Ο υδρατμός, που συνήθως ονομάζεται απλώς ατμός, παράγεται υπό πίεση στους ατμολέβητες και χρησιμοποιείται για την κίνηση μηχανών, τη θέρμανση βιομηχανικών συσκευών ή τη συμμετοχή σε φυσικές και χημικές διεργασίες ως «ζωντανός» ατμός.

5.4.3 Επιλογή και έλεγχος της λειτουργίας των συστημάτων μεταφοράς ρευστών.

Όπως στις μεταφορικές διατάξεις των στερεών, έτσι και στις αντλίες, τους συμπιεστές και τις σωληνώσεις μεταφοράς υγρών και αερίων, πρέπει να δίνεται κάθε προσοχή για την καλή τους λειτουργία, ώστε να εξασφαλίζεται η συνεργασία των διαφόρων βιομηχανικών συσκευών και η ομαλή πορεία της παραγωγής. Η φωτογραφία του σχήματος 5.4δ μας δίνει μία εικόνα του μεγάλου πλήθους των σωληνώσεων μεταφοράς νερού, διαλυμάτων, αερίων και υγρών προϊόντων, πεπιεσμένου αέρα και ατμού, που συναντάμε συχνά στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου και μεγέθους των αντλιών, των συμπιεστών και των σωληνώσεων γίνεται σύμφωνα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και συνθήκες στην κάθε βιομηχανία. Τα κυριότερα κριτήρια επιλογής τους είναι:

- α) Η **παροχή** και η **πίεση** του ρευστού, που καθορίζεται με ένα περιθώριο ασφάλειας (π.χ. 20% επί πλέον των κανονικών αναγκών), για την αντιμετώπιση περιπτώσεων υπερφορτώσεως. Η πρώτη εκφράζεται σε m^3/h και η δεύτερη σε ατμόσφαιρες, kr/cm^2 ή μέτρα μανομετρικού ύψους για τα υγρά.
- β) Η **σύσταση** και τα άλλα ειδικά χαρακτηριστικά του ρευστού, όπως π.χ. μπορεί να είναι η ύπαρξη στερεών αιωρημάτων στα υγρά ή σκόνης στα αέρια, το υψηλό ιξώδες των υγρών, η υψηλή θερμοκρασία κλπ.
- γ) Η **διαβρωτικότητα** του ρευστού καθορίζει τα υλικά κατασκευής των σωληνώσεων και των τμημάτων των αντλιών και αεροσυμπιεστών που έρχονται σε επαφή με αυτό. Αν το ρευστό δεν είναι διαβρωτικό, χρησιμοποιείται συνήθως κοινός χάλυβας. Όταν όμως πρόκειται για όξινα ή άλλα διαβρωτικά ρευστά που προκαλούν ταχεία φθορά στο χάλυβα, επιλέγονται, ανάλογα με την περίπτωση, καταλληλότερα υλικά, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, ο χυτοσίδηρος, άλλα ανθεκτικά μέταλλα και κράματα, καθώς και μη μεταλλικά υλικά, όπως π.χ. πλαστικά και κεραμικά.

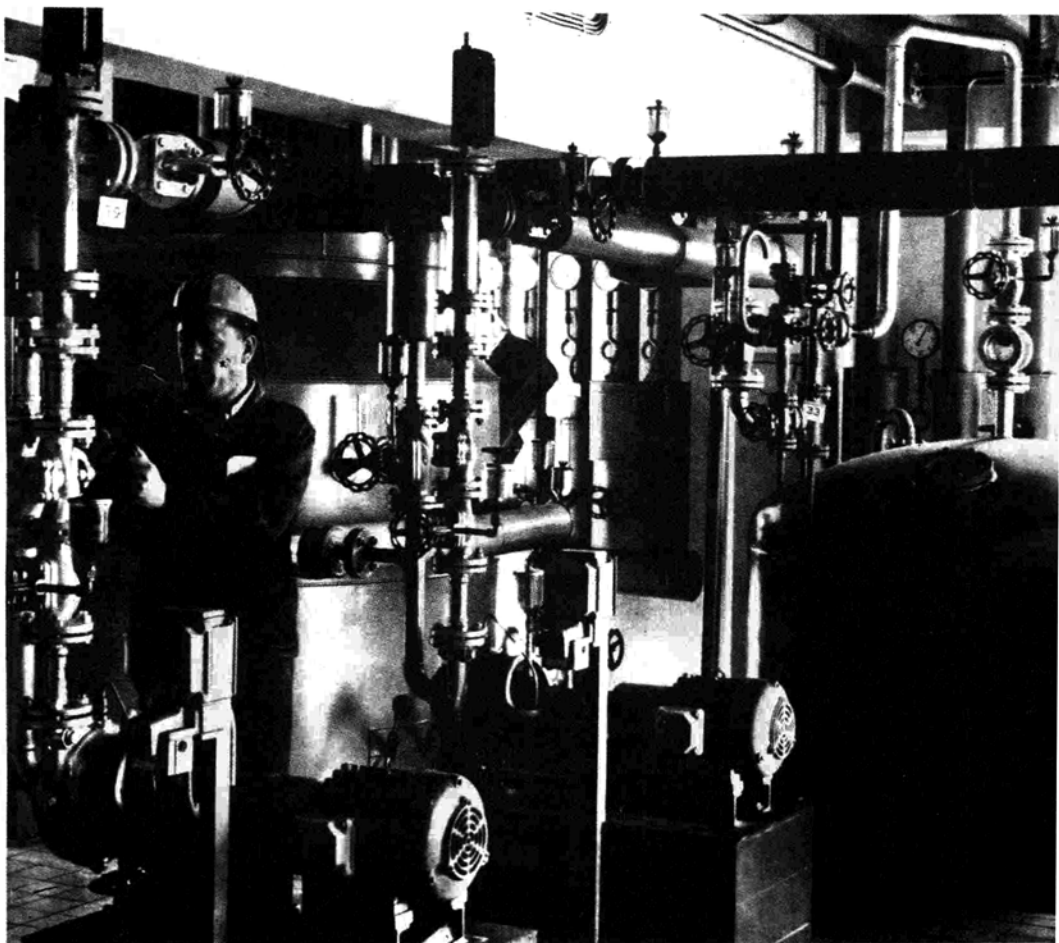
Η εκκίνηση και η στάση των αντλιών και των συμπιεστών και η αυτόματη ρύθμιση του ανοίγματος των οργάνων φραγής, γίνεται συχνά με σύστημα αυτοματισμού και τηλεχειρισμού από ένα κεντρικό πίνακα. Σ' αυτόν, ο χειριστής ελέγχει τη λειτουργία της βιομηχανικής μονάδας με τη βοήθεια διαφόρων οργάνων μετρή-



Σχ. 5.46.

Υπαίθρια δίκτυα κατακορύφων και οριζοντίων σωληνώσεων σε εργοστάσιο συνθέσεως αμμωνίας στη Β. Ελλάδα.

σεως και καταγραφής των θερμοκρασιών, των πιέσεων, των ταχυτήτων ροής υγρών και αερίων, της στάθμης υγρών κλπ. Σε άλλες όμως εγκαταστάσεις, η συμμετοχή του προσωπικού παράγοντα εξακολουθεί να είναι πολύ σημαντική και οι χειρισμοί γίνονται από ειδικευμένους τεχνικούς, με επέμβαση σε χειροκίνητα όργανα, σύμφωνα με τις ενδείξεις των οργάνων και την παρατήρηση της πορείας των διερ-



Σχ. 5.4ε.

Τμήμα εργοστασίου παραγωγής συνθετικών απορρυπαντικών. Διακρίνεται πλήθος συνδέσεων σωληνώσεων και εξαρτημάτων με φλάντζες, πολλά όργανα φραγής και ελέγχου και δύο φυγόκεντρες αντλίες.

γασιών. Μια τέτοια περίπτωση, βλέπομε στη φωτογραφία του σχήματος 5.4ε. Δεξιά, φαίνεται ένα μέρος ενός δοχείου, όπου πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις. Αριστερά είναι το σύστημα των σωληνώσεων, οργάνων και αντλιών, που χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του δοχείου με χημικά αντιδραστήρια, τη θέρμανση και ψύξη του και την παραλαβή των προϊόντων των αντιδράσεων. Στο κάλυμμα του δοχείου φαίνεται μία υαλόφρακτη οπή, για την παρατήρηση της κατάστασεως στο εσωτερικό του, ώστε, σε συνδυασμό με την ανάγνωση των διαφόρων οργάνων ελέγχου (θερμόμετρα, μανόμετρα, παροχόμετρα κλπ.), να ρυθμίζει ο χειριστής τις κατάλληλες συνθήκες για την ευνοϊκή πορεία της αντιδράσεως.

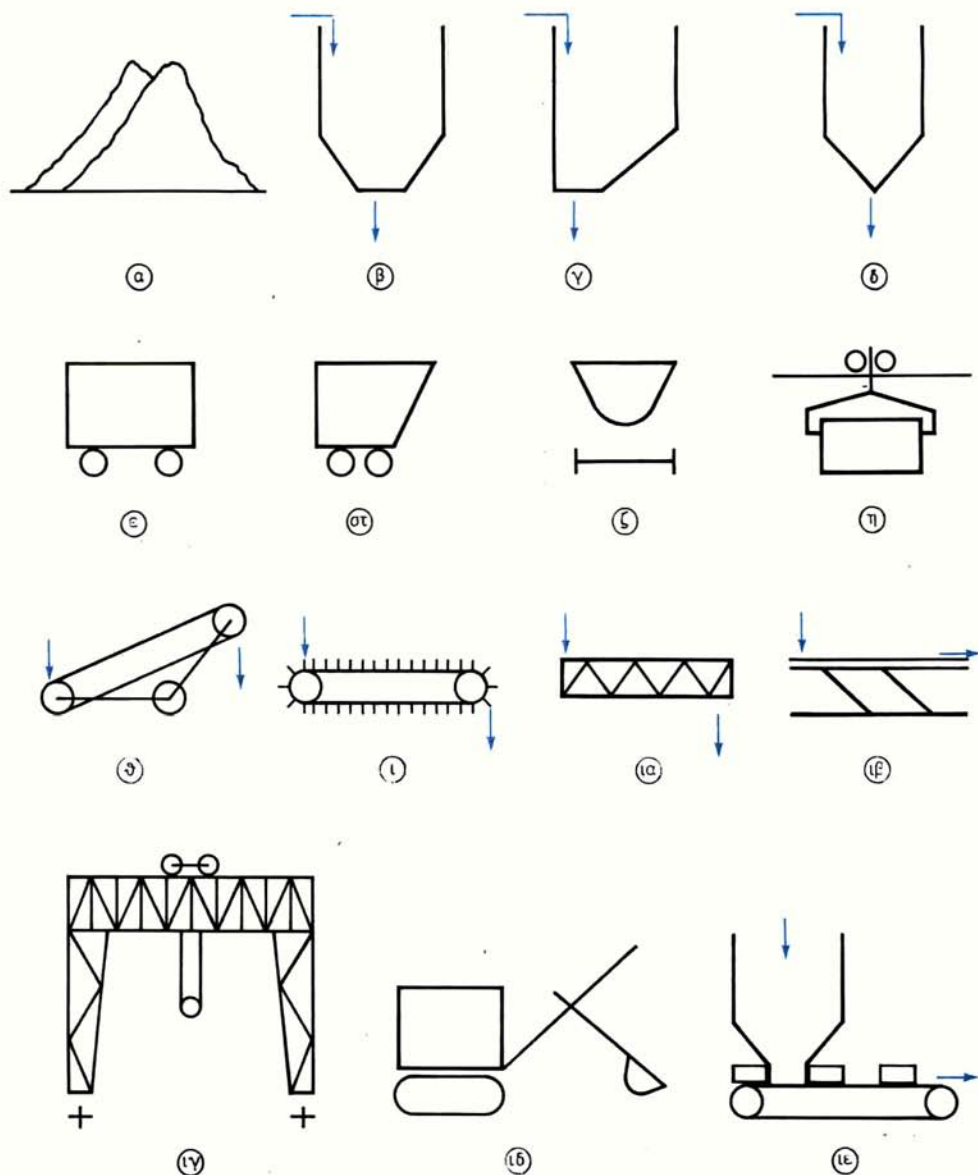
5.5 Συμβολισμοί για την αποθήκευση και μεταφορά των υλικών.

Στην παράγραφο 4.2 είχαμε γνωρίσει ένα μικρό αριθμό από τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στα κατασκευαστικά διαγράμματα των χημικών βιομηχανιών. Μεταξύ τους ήταν και τα σύμβολα δύο βιομηχανικών συσκευών μεταφοράς στερεών υλικών, δηλαδή της μεταφορικής ταινίας και του αναβατορίου. Στο σχήμα 5.5α παρουσιάζονται άλλα 15 χρήσιμα σύμβολα, για την αποθήκευση και μεταφορά των στερεών. Επίσης, στο σχήμα 5.5β παρουσιάζονται τα σύμβολα των κυριότερων οργάνων, μηχανημάτων και βιομηχανικών συσκευών, που χρησιμοποιούνται στην αποθήκευση και μεταφορά των υγρών και των αερίων.

Η γνώση των συμβολικών σχεδίων, όπως τα παραπάνω, είναι πολύ χρήσιμη, όχι μόνο γιατί μας επιτρέπει να διαβάζουμε και να καταστρώνουμε τα κατασκευαστικά διαγράμματα των χημικών βιομηχανιών, αλλά και γιατί η σχεδίασή τους είναι απλουστευμένη, μέχρι την πλήρη αφαίρεση των λεπτομερειών. Έτσι, προβάλλονται μόνο τα απολύτως ουσιώδη χαρακτηριστικά και γίνονται φανερές οι βασικές αρχές της λειτουργίας των διαφόρων μηχανημάτων και συσκευών. Στις περισσότερες μάλιστα περιπτώσεις, δεν χρειάζεται καμιά άλλη περιγραφή ή επεξήγηση, εκτός από την ονομασία και το σύμβολο της συσκευής, για την κατανόηση της λειτουργίας της. Επίσης, δίνεται η ευκαιρία άμεσης συγκρίσεως των μηχανημάτων και συσκευών, που εκτελούν όμοιες εργασίες (π.χ. τα σιλό, τα βαγονέττα ή οι μεταφορικές διατάξεις του σχήματος 5.5α και οι δεξαμενές ή οι αντλίες του σχήματος 5.5β) και προβολής των πλεονεκτημάτων ή των μειονεκτημάτων τους, για κάθε συγκεκριμένη βιομηχανική εφαρμογή.

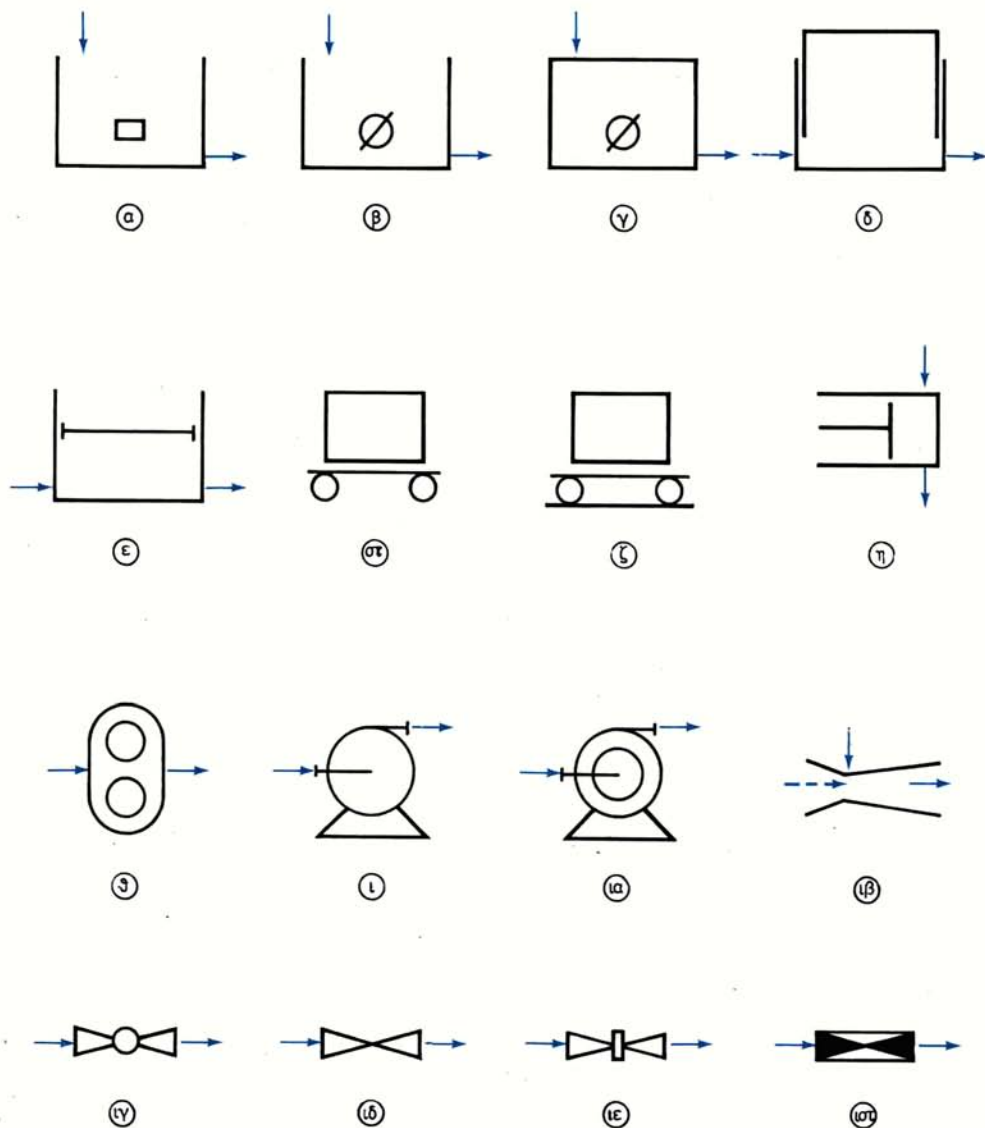
Σαν αποτέλεσμα της σχεδιαστικής απλοποιήσεως που αναφέραμε παραπάνω, βλέπουμε στο σχήμα 5.5β ότι π.χ. το ίδιο σύμβολο χρησιμοποιείται τόσο για τη φυγόκεντρη αντλία υγρών, όσο και για το φυσητήρα αερίων, αν και οι εφαρμογές τους είναι διαφορετικές, η δε εξωτερική τους όψη παρουσιάζει, όπως είδαμε στις φωτογραφίες των σχημάτων 5.3ζ και 5.4γ, σημαντικές διαφορές. Η ταύτιση όμως αυτή είναι απόλυτα δικαιολογημένη. Η λειτουργία και των δύο μηχανημάτων στηρίζεται στην ίδια βασική αρχή και πραγματοποιείται με όμοιο τρόπο, δηλαδή με την ταχεία περιστροφή ενός πτερυγοφόρου δίσκου, που μεταδίνει φυγόκεντρη δύναμη στο ρευστό και το εκτινάζει προς τα έξω.

Θα πρέπει πάντως να έχουμε γενικά υπ' όψη μας, σχετικά με τη χρήση των διαφόρων συμβόλων των κατασκευαστικών διαγραμμάτων, ότι η μορφή τους δεν είναι αυστηρά καθορισμένη, όπως συμβαίνει π.χ. με τα σύμβολα των χημικών στοιχείων ή των μαθηματικών πράξεων. Είναι λάθος, π.χ. να γράφομε το νάτριο στις χημικές εξισώσεις με οποιοδήποτε άλλο σύμβολο, εκτός από Na. Ο συμβολισμός όμως μιας συσκευής σε ένα κατασκευαστικό διάγραμμα, μπορεί να είναι εξίσου σωστός, αν προστεθούν ή αφαιρεθούν ορισμένα στοιχεία από το σχέδιό της, αρκεί βέβαια η μετατροπή αυτή να μη γίνεται σε βάρος της σαφήνειας του διαγράμματος. Π.χ. στο σχήμα 5.5γ βλέπουμε ότι η προσθήκη ακτίνων (πτερυγίων) ή η αφαίρεση της βάσεως και των σωληνώσεων αναρροφήσεως και καταθλίψεως από το σύμβολο του φυσητήρα του σχήματος 5.5β, δεν μειώνει την ικανοποιητική απόδοση της βασικής αρχής της λειτουργίας του. Επομένως, τα αντίστοιχα σχέδια μπορούν να είναι επίσης αποδεκτά σαν σύμβολα των κατασκευαστικών διαγραμμάτων. Συχνά μάλιστα οι κατάλληλες τροποποιήσεις των συμβόλων είναι πολύ ευ-



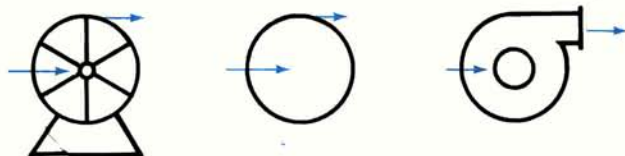
Σχ. 5.5α.

Συμβολικές απεικονίσεις, σχετικές με την αποθήκευση και τη μεταφορά των στερεών υλικών στις βιομηχανίες: α) Αποθήκευση σε σωρούς. β) Ορθογώνιο σιλό με εκκένωση στο μέσο. γ) Ορθογώνιο σιλό με εκκένωση στο πλευρό. δ) Κυλινδρικό σιλό. ε) Κοινό τετράτροχο βαγονέττο. στ) Βαγονέττο ανατρεπόμενο προς τα εμπρός (σέσουλα). ζ) Βαγονέττο ανατρεπόμενο πλευρικά (κούνια). η) Ανατρεπόμενο εναέριο βαγονέττο. θ) Φορητή μεταφορική ταινία. ι) Μεταφορική ταινία με ξέστρα. ια) Μεταφορικός κοχλίας. ιβ) Δονούμενος μεταφορέας. ιγ) Γερανογέφυρα σε σιδηροτροχιές. ιδ) Μηχανικό πτύο σε ερπίστρες. ιε) Μηχανή συσκευασίας υλικών σε κιβώτια.


Σχ. 5.5β.

Συμβολικές απεικονίσεις σχετικές με την αποθήκευση και τη μεταφορά των υγρών και αερίων στις βιομηχανίες: α) Ανοικτή ορθογώνια δεξαμενή. β) Ανοικτή κυλινδρική δεξαμενή. γ) Κλειστή κυλινδρική δεξαμενή. δ) Τηλεσκοπικό αεριοφυλάκιο (τύπου κώδωνα). ε) Αεριοφυλάκιο με κινητή στέγη. στ) Βυτιοφόρο όχημα. ζ) Βυτιοφόρο σιδηροδρομικό βαγόνι. η) Παλινδρομική εμβολοφόρα αντλία ή αεριοσυμπιεστής. θ) Οδοντωτή αντλία. ι) Φυγόκεντρα αντλία ή φυσητήρας με μία βαθμίδα. ια) Πολυβάθμια φυγόκεντρα αντλία ή φυσητήρας. ιβ) Εγχυτήρας (τζιφάρι). ιγ) Κρουνός. ιδ) Διακόπτης. ιε) Βάννα με σύρτη. ιστ) Βάννα μοναδικής φοράς.

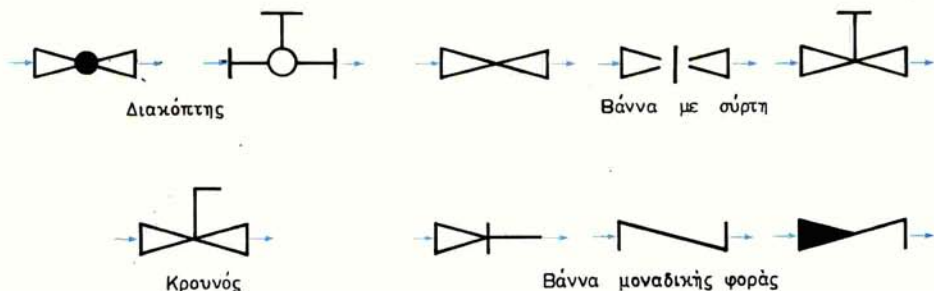
πρόσδεκτες αν διευκολύνουν στην κατανόηση των διαφόρων ειδικών καταστάσεων, λειτουργιών ή διεργασιών, που επιδιώκουν να περιγράψουν. Π.χ. η αυξημένη διάσταση της σωληνώσεως καταθλίψεως στο τρίτο σύμβολο του φυσητήρα του σχήματος 5.5γ, δείχνει ότι οι αεραγωγοί είναι συνήθως μεγαλύτερης διατομής από τις σωληνώσεις των υγρών, διότι μεταφέρουν πολύ μεγαλύτερο όγκο υλικού.



Σχ. 5.5γ.

Παραδείγματα διαφορετικών βαθμών απλοποιήσεως του συμβόλου του φυγοκεντρικού φυσητήρα αερίων.

Αυτή η ελευθερία στο συμβολισμό των κατασκευαστικών διαγραμμάτων έχει οδηγήσει, σε πολλές περιπτώσεις, στην εμφάνιση διαφορετικών συμβόλων, που χρησιμοποιούνται σε βιβλία, βιομηχανικά σχέδια ή εμπορικούς κατάλογους μηχανημάτων για την απεικόνιση του ίδιου αντικειμένου. Π.χ. στο σχήμα 5.5δ βλέπουμε ορισμένα άλλα σύμβολα για τα όργανα φραγής των σωληνώσεων, εκτός από εκείνα που γνωρίσαμε στο σχήμα 5.5β. Υπάρχουν μάλιστα περιπτώσεις όπου το ίδιο σύμβολο χρησιμοποιείται για εντελώς διαφορετικά αντικείμενα. Για να μην προκαλείται σύγχυση ή αμφιβολία ως προς την έννοια του κάθε συμβόλου, είναι σκόπιμο να συνοδεύονται τα κατασκευαστικά διαγράμματα από ένα υπόμνημα με την ερμηνεία των περιεχομένων συμβολισμών.



Σχ. 5.5δ.

Παραδείγματα χρησιμοποιήσεως διαφορετικών συμβόλων για τα όργανα φραγής των σωληνώσεων.

Στο κείμενο του βιβλίου υπάρχουν όλα τα στοιχεία για τη διατύπωση απαντήσεων στις ερωτήσεις και ασκήσεις που ακολουθούν στο τέλος κάθε κεφαλαίου. Ειδικότερα για τη λύση των ασκήσεων, όπως άλλωστε και των πραγματικών προβλημάτων που συναντά ο τεχνικός στη χημική βιομηχανία, είναι χρήσιμες οι παρακάτω γενικές οδηγίες.

Σχεδιάζουμε ένα σχηματικό ή ένα κατασκευαστικό διάγραμμα, στο οποίο σημειώνουμε τις διεργασίες, τις χημικές αντιδράσεις, τις βιομηχανικές συσκευές, τις ποσότητες των υλικών, τις αποστάσεις και γενικά όλα τα γνωστά στοιχεία και μεγέθη του προβλήματος. Με τον τρόπο αυτό το πρό-

βλημα παίρνει πιο συγκεκριμένη μορφή, γίνεται κατανοητό και διευκολύνεται σημαντικά η αναζήτηση της σωστής λύσεως.

Ανάλογα με το είδος του προβλήματος, η εξαγωγή των αριθμητικών αποτελεσμάτων γίνεται με τη διατύπωση μαθηματικών σχέσεων, με την κατασκευή γραφικών λύσεων ή με τη χρησιμοποίηση διαφόρων πινάκων και διαγραμμάτων. Π.χ. η λύση της ασκήσεως 8 γίνεται με τη διατύπωση των μαθηματικών σχέσεων $V = Q \cdot t$ και $Q = S \cdot u$, όπου V είναι ο όγκος του μεταφερόμενου υλικού, Q η παροχή της μεταφορικής ταινίας, t ο χρόνος της εργασίας, S η διατομή του στρώματος του υλικού στην ταινία και u η ταχύτητα της ταινίας. Παράδειγμα γραφικής λύσεως είναι η άσκηση 7, ενώ τη χρησιμοποίηση πινάκων ή διαγραμμάτων θα συναντήσουμε σε ασκήσεις των επομένων κεφαλαίων.

Την εξαγωγή του αποτελέσματος ακολουθεί πάντοτε μία διερεύνηση της λύσεως, με τη βοήθεια των γνώσεων που έχουμε αποκτήσει και της κοινής λογικής. Ας υποθέσουμε π.χ. ότι σε προβλήματα της χημικής τεχνολογίας βρήκαμε σαν λύσεις ότι η θερμοκρασία σε μία κάμινο θα πρέπει να είναι 8000°C ή ότι το υγρό σε μία σωλήνωση θα πρέπει να ρέει με ταχύτητα 10 m/s . Τις απαντήσεις αυτές θα πρέπει να τις απορρίψουμε σαν ανεφάρμοστες στις βιομηχανικές συνθήκες και να αναζητήσουμε άλλες λύσεις, πρακτικά εφαρμόσιμες. Θα πρέπει βέβαια να μας είναι γνωστό ότι στις βιομηχανικές καμίνους η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει συνήθως τους 1500°C (σε ειδικές ηλεκτρικές καμίνους έχουν πραγματοποιηθεί θερμοκρασίες μέχρι 5500°C) και ότι η ταχύτητα ροής των υγρών στις σωληνώσεις δεν υπερβαίνει συνήθως τα 2 m/s (για λεπτόρρευστα υγρά μπορεί να φθάσει μέχρι 3 m/s).

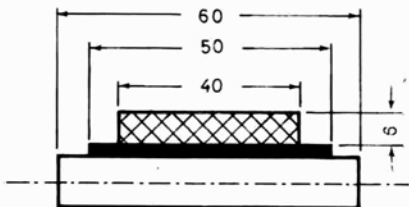
Επίσης η ακρίβεια με την οποία εκφράζουμε τα αποτελέσματα θα πρέπει να ταιριάζει με τα όρια που καθορίζουν οι πρακτικές βιομηχανικές συνθήκες. Π.χ. στην άσκηση 8 δεν έχει νόημα να γράψουμε ότι η ταχύτητα της μεταφορικής ταινίας θα πρέπει να είναι $0,52083\text{ m/s}$, όπως προκύπτει από τις υπολογιστικές πράξεις. Δεν υπάρχει τρόπος να ρυθμισθεί αλλά ούτε και να μετρηθεί η ταχύτητα της ταινίας με τόση ακρίβεια. Επομένως μια τέτοια απάντηση δείχνει άγνοια των δυνατοτήτων και των συνθηκών στη βιομηχανία. Επί πλέον μπορεί να είναι παραπλανητική, γιατί δίνει την εντύπωση ότι είναι αναγκαία η τήρηση συνθηκών πολύ υψηλής ακρίβειας, πράγμα που συνήθως δεν ισχύει. Είναι πολύ σωστότερο να στρογγυλεύουμε το αποτέλεσμα στο παράδειγμά μας στην τιμή $0,52\text{ m/s}$ ή ακόμη και στην τιμή $0,5\text{ m/s}$, αν κρίνουμε ότι η ακρίβεια αυτή είναι περισσότερο προσαρμοσμένη στις συνθήκες μιας συγκεκριμένης περιπτώσεως.

Ερωτήσεις και Ασκήσεις.

1. Γιατί είναι απαραίτητη η ύπαρξη αποθηκευτικών χώρων και μεταφορικών διατάξεων στις βιομηχανίες;
2. Τι ιδιότητες πρέπει να έχουν (ή μάλλον να μην έχουν) τα στερεά υλικά, ώστε να είναι κατάλληλα για αποθήκευση σε σωρούς στο ύπαιθρο;
3. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της αποθηκείσεως των στερεών υλικών σε σιλό;
4. Πότε χρησιμοποιούνται μεταφορικές ταινίες με ευθύγραμμα ράουλα και πότε με ράουλα υπό κλίση;
5. Ποιες διατάξεις χρησιμοποιούνται για την οριζόντια μεταφορά, την υπό κλίση και την κατακόρυφη ανύψωση των στερεών υλικών;
6. Τι πλεονεκτήματα παρουσιάζει η χρησιμοποίηση δονομένων μεταφορέων και συστημάτων αερομεταφοράς στερεών;
7. Σχεδιάστε το κατασκευαστικό διάγραμμα και υπολογίστε το απαιτούμενο ελάχιστο ελεύθερο μήκος του γηπέδου ενός εργοστασίου για την αποθήκευση 360 m^3 υγρής άμμου σε υπαίθριο κωνικό σωρό και την εγκατάσταση μιας μεταφορικής ταινίας υπό κλίση, που θα τροφοδοτεί με υγρή άμμο από τον σωρό ένα σιλό ύψους 10 μέτρων . Ο υπολογισμός μπορεί να γίνει γεωμετρικά και τριγωνομετρικά ή, απλούστερα, γραφικά με ένα σχέδιο υπό κλίμακα. (**Απάντηση:** 42 m περίπου πέρα από το σιλό, από τα οποία τα 14 m για το σωρό και τα 28 m για τη μεταφορική ταινία).
8. Υποθέστε ότι το μήκος των ραούλων της μεταφορικής ταινίας της προηγούμενης ασκήσεως είναι 60 cm , το πλάτος της ταινίας 50 cm και η διατομή του στρώματος του μεταφερόμενου υλικού επάνω στην ταινία έχει κατά μέσο όρο σταθερό πλάτος 40 cm και ύψος 6 cm .

Υπολογίστε την ταχύτητα που πρέπει να έχει η μεταφορική ταινία, ώστε ολόκληρη η ποσότητα της άμμου του σωρού να μεταφερθεί στο σιλό στο χρονικό διάστημα μιας βάρδιας εργασίας (8 ώρες).

(Απάντηση: 0,52 m/s).



Οι υποτιθέμενες μέσες διαστάσεις του στρώματος του υλικού στη μεταφορική ταινία της ασκήσεως.

9. Με ποιους τρόπους γίνεται η προφύλαξη και η αντιμετώπιση των πυρκαϊών στα εργοστάσια;
10. Για ποιο λόγο εφαρμόζεται θερμική μόνωση στα δοχεία αποθηκέυσης και στις σωληνώσεις μεταφοράς θερμών ή ψυχρών υγρών και αερίων;
11. Τι πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζουν τα κυριότερα όργανα φραγής των σωληνώσεων (κρουνός, διακόπτης, βάννα με σύρτη);
12. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των παλινδρομικών, των περιστροφικών και των φυγοκέντρων αντλιών;
13. Τι πλεονεκτήματα παρουσιάζει ο εγχυτήρας, σε σύγκριση με τις αντλίες των παραπάνω τύπων;
14. Τι είναι η κρουογενής αποθήκευση των αερίων και ποια πλεονεκτήματα παρουσιάζει;
15. Ποιες είναι οι κυριότερες χρήσεις του πεπιεσμένου αέρα και του ατμού στα εργοστάσια;
16. Ποια είναι τα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου τύπου και μεγέθους αντλιών, αεροσυμπιεστών ή σωληνώσεων;
17. Να γράψετε τα κατασκευαστικά διαγράμματα μιας βιομηχανικής εγκαταστάσεως στερεών υλικών και μιας άλλης, κατεργασίας υγρών ή αερίων υλικών, χρησιμοποιώντας και επινοώντας συμβολικές απεικονίσεις, όπως εκείνες των σχημάτων 5.5α και 5.5β.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ

6.1 Γενικά.

Η ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων των στερεών υλικών επιδιώκεται για πολλούς λόγους. Ορισμένοι από αυτούς είναι προφανείς. Π.χ. οι μεγάλες πέτρες των λατομείων, όταν μετατραπούν σε χαλίκια, μπορούν να φορτωθούν εύκολα σε φορτηγά αυτοκίνητα ή να μεταφερθούν με μεταφορικές ταινίες. Μπορούν επίσης να χωρισθούν σε κατηγορίες για διαφορετικές χρήσεις ανάλογα με το μέγεθός τους (παραγωγή ασβέστη, κατασκευή οδοστρωμάτων, παρασκευή μπετόν και κονιαμάτων της οικοδομικής κλπ). Τα μίγματά τους εξ άλλου με άμμο και τσιμέντο είναι ομοιογενή, ώστε να σχηματίζουν μπετόν με σταθερές και ενιαίες ιδιότητες. Γενικά, όταν τα στερεά υλικά είναι σε μορφή μικρών τεμαχίων, μεταφέρονται ευκολότερα, αποκτούν ομοιομορφία και σχηματίζουν ομοιογενή μίγματα με άλλα στερεά.

6.1.1 Η ειδική επιφάνεια των στερεών.

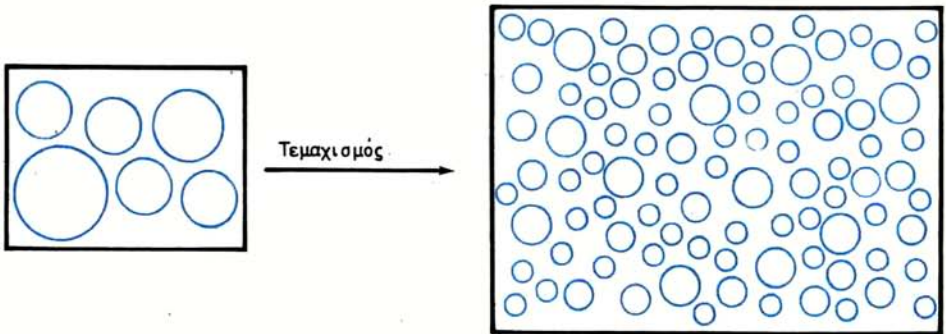
Μεγαλύτερης όμως σημασίας για τη χημική βιομηχανία είναι μία έμμεση συνέπεια της ελαττώσεως του μεγέθους των στερεών. Πρόκειται για την αύξηση της **ειδικής επιφάνειας** του στερεού υλικού, δηλαδή της επιφάνειας που αποκτούν τα τεμαχία του ανά μονάδα μάζας (m^2/kg) ή ανά μονάδα όγκου (m^2/m^3) του υλικού. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.1, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των τεμαχίων μιας ποσότητας στερεού σώματος, τόσο μεγαλύτερο είναι το ανάπτυγμα της επιφάνειας που παρουσιάζει. Αυτό διευκολύνει πολύ την πραγματοποίηση των διαφόρων φυσικών μεταβολών και χημικών αντιδράσεων των στερεών σωμάτων, γιατί δίνει την ευκαιρία σε περισσότερα άτομα και μόρια να συμμετάσχουν σ' αυτές. Π.χ. η διάλυση των αλάτων στο νερό, η πήξη του τσιμέντου στα κονιάματα ή η καύση του κάρβουνου στις εστίες των καμίνων, συντελούνται ταχύτερα και πληρέστερα, όταν τα στερεά αυτά υλικά βρίσκονται σε μορφή μικρών τεμαχίων ή λεπτής σκόνης, αφού τα φαινόμενα αυτά εκδηλώνονται στην επιφάνεια των κόκκων τους. Η ταχύτερη όμως και πληρέστερη πραγματοποίηση των φυσικών μεταβολών και των χημικών αντιδράσεων, συντείνουν στην αύξηση της αποδόσεως των βιομηχανικών εγκαταστάσεων (επομένως στη μείωση του κόστους) και στη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος. Δηλαδή στην ικανοποίηση των βασικών επιδιώξεων της χημικής βιομηχανίας. Τον ίδιο σκοπό εξυπηρετεί και η αύξηση της ειδικής επιφάνειας των υγρών, που θα συναντήσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Ξαναγυρίζοντας στο σχήμα 6.1, θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η εικόνα με

τους σφαιρικούς κόκκους, που παρουσιάζει, είναι εντελώς θεωρητική. Στις πραγματικές συνθήκες, τα προϊόντα του τεμαχισμού των υλικών αποκτούν ακανόνιστο γεωμετρικό σχήμα, που τους δίνει πολύ μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια. Για τον υπολογισμό της πραγματικής αυτής ειδικής επιφάνειας E των κόκκων ενός στερεού εφαρμόζεται η σχέση:

$$E = \delta \cdot E_{\sigma\phi} \text{ m}^2/\text{kg}$$

όπου δ είναι ένας συντελεστής που εκφράζει την έλλειψη σφαιρικότητας στο σχήμα των κόκκων του υλικού και $E_{\sigma\phi}$ η θεωρητική ειδική επιφάνεια που αντιστοιχεί σε σφαιρικούς κόκκους διαμέτρου ίσης με το μέσο μέγεθος.



Σχ. 6.1.

Οι σφαιρικοί κόκκοι στο δεξιό μέρος του σχήματος προήλθαν από τον τεμαχισμό των μεγάλων κόκκων του αριστερού μέρους. Η επιφάνειά τους όμως είναι τρεις φορές μεγαλύτερη.

Η τιμή του δ μπορεί να προσδιορισθεί εμπειρικά ή με συγκριτική παρατήρηση στο μικροσκόπιο. Στον πίνακα 6.1.1 δίνονται ενδεικτικά οι τιμές του δ για ορισμένα συνηθισμένα υλικά. Βλέπουμε ότι το γυαλί, με το πολυγωνικό σχήμα των κόκκων του, έχει σημαντικά μεγαλύτερη τιμή δ από την άμμο, που αποτελείται από σχεδόν σφαιρικούς κόκκους. Ακόμη μεγαλύτερη τιμή έχουν οι διάφορες σκόνες, επειδή το σχήμα των τεμαχιδίων τους είναι πολύ ακανόνιστο.

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα, δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε και ορισμένα μειονεκτήματα, που συνεπάγεται η πολύ λεπτή κατανομή των στερεών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.1.

Τιμές του συντελεστή δ για διάφορα υλικά σε κόκκους

Τέλειες σφαίρες	1,00
Άμμος	1,43
Γυαλί	1,90
Φελλός	1,98
Καρβουνόσκονη	2,12
Κοινή σκόνη	2,28

Το κυριότερο είναι ο κίνδυνος να σκορπίσει το υλικό και να παρασυρθεί στον αέρα με τη μορφή σκόνης κατά τη μεταφορά, την αποθήκευση ή τη χρήση του. Πολλές φορές λοιπόν είναι σκόπιμη η αντίστροφη εργασία, δηλαδή η αύξηση του μεγέθους των τεμαχίων του στερεού, με συσσωμάτωση και συμπίεση των μικρών τεμαχίων και σχηματισμό κόκκων ή μεγαλύτερων τεμαχίων. Τέτοια συνηθισμένα παραδείγματα είναι η μετατροπή των λιπασμάτων από σκόνη σε κόκκους και των φαρμάκων σε δισκία (χάπια).

6.1.2 Η μετάδοση της μηχανικής ενέργειας.

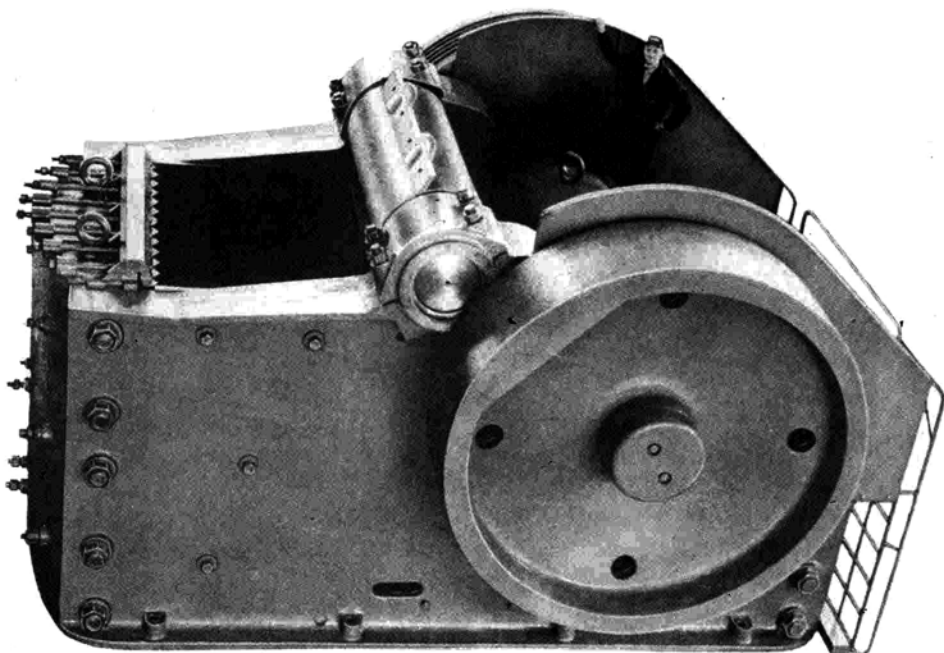
Ο τεμαχισμός των στερεών απαιτεί την εφαρμογή δυνάμεων και την κατανάλωση μηχανικής ενέργειας στις αντίστοιχες βιομηχανικές συσκευές (θραυστήρες, μύλοι). Είναι φανερό ότι η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται θα είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο σκληρότερο είναι το υλικό και όσο μεγαλύτερη είναι η ελάττωση του μεγέθους που πραγματοποιείται. Π.χ. διαπιστώθηκε στην πράξη ότι σε έναν ηλεκτροκίνητο θραυστήρα που τροφοδοτείται με 30 t/h (τόννοι την ώρα) μέταλλευμα βωξίτη με μέσο μέγεθος τεμαχίων περίπου 30 cm, καταναλώνεται ισχύς 20 kW για τη θραύση του μέχρι τεμάχια μέσου μεγέθους περίπου 6 cm. Αν όμως η θραύση του ίδιου αρχικού μεταλλεύματος γίνει μέχρι να μετατραπεί σε τεμάχια μέσου μεγέθους περίπου 3 cm, απαιτείται κατανάλωση υπερδιπλάσιας ισχύος, περίπου 45 kW.

Η μετάδοση της μηχανικής ενέργειας στα στερεά γίνεται με κατάλληλα μηχανήματα, υπό τη μορφή **κρούσεων, συμπίεσης, κοπής ή τριβής** και οι κυριότερες σχετικές διεργασίες είναι η **θραύση** και η **άλεση**. Στην πρώτη, παραλαμβάνεται το στερεό υλικό σε τεμάχια μεγέθους συνήθως από 5 έως 50 cm και μετατρέπεται σε μικρότερα, από 1 έως 4 cm περίπου. Ειδικότερα, όταν το στερεό, ή ένα μέρος από την ποσότητά του, αποτελείται από πολύ μεγάλα τεμάχια, χρειάζεται συνήθως να προηγηθεί μία **πρόθραυση**, που μειώνει το μέγεθος των μεγάλων τεμαχίων, και το προϊόν της προθραύσεως υποβάλλεται στη συνέχεια στην κυρίως θραύση σε επόμενο θραυστήρα, μέχρι το επιθυμητό μέγεθος τεμαχίων. Στην άλεση γίνεται λεπτότερος τεμαχισμός του στερεού, μέχρι μέγεθος 0,01 έως 0,1 mm περίπου. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τις βιομηχανικές συσκευές, στις οποίες πραγματοποιούνται οι δύο αυτές διεργασίες.

6.2 Θραύση.

6.2.1 Θραυστήρες με σιαγόνες.

Όταν το υλικό είναι σχετικά σκληρό και το μέγεθος των τεμαχίων του αρκετά μεγάλο, π.χ. πάνω από 10 cm, η θραύση του γίνεται συνήθως σε θραυστήρες με σιαγόνες. Ένα θραυστήρα αυτού του τύπου βλέπομε στο σχήμα 6.2α. Η τροφοδοσία γίνεται από ένα ορθογώνιο άνοιγμα στο πάνω μέρος του θραυστήρα, οι διαστάσεις του οποίου καθορίζουν το μέγιστο όριο για τα μεγέθη των τεμαχίων που μπορεί να δεχθεί και να κατεργασθεί ο θραυστήρας. Κάτω από το άνοιγμα της τροφοδοσίας κινείται παλινδρομικά η μία σιαγόνα, συμπιέζοντας το υλικό επάνω στην άλλη, που είναι σταθερή. Η συμπίεση προκαλεί το θρυμματισμό των μεγάλων τεμαχίων και τα προϊόντα κατέρχονται προς το άνοιγμα εξαγωγής στο κάτω



Σχ. 6.2α.

Ένας από τους μεγαλύτερους τύπους θραυστήρα με σιαγόνες με άνοιγμα τροφοδοσίας 210×150 cm. Αριστερά είναι η σταθερή σιαγόνα (φαίνονται οι ραβδώσεις του άνω άκρου της), στο κέντρο ο άξονας αναρτήσεως της κινητής σιαγόνας και δεξιά ο σφόνδυλος που της δίνει την παλινδρομική κίνηση.

μέρος του θραυστήρα. Κατά την πορεία προς τα κάτω, τα μεγαλύτερα από τα προϊόντα της θραύσεως συμπιέζονται και πάλι από την κινούμενη παλινδρομικά σιαγόνα πάνω στη σταθερή σιαγόνα και θρυμματίζονται προς μικρότερα τεμάχια. Το μέγεθος του τελικού προϊόντος καθορίζεται από τις διαστάσεις του ανοίγματος εξαγωγής του θραυστήρα, οι οποίες μπορούν να ρυθμισθούν κατά βούληση.

Ο πίνακας 6.2.1 δείχνει την ωριαία παροχή σε τόννους διαφόρων θραυστήρων με σιαγόνες, αναλόγως του μεγέθους των τεμαχίων του υλικού, που παραλαμβάνουν και του τελικού μεγέθους των προϊόντων της θραύσεως, δηλαδή ανάλογα με τις διαστάσεις των ανοιγμάτων της τροφοδοσίας και της εξαγωγής του θραυστήρα. Βλέπουμε ότι η λήψη προϊόντος σε σχετικά μικρά τεμάχια είναι δυνατή, μόνο όταν η τροφοδοσία του θραυστήρα αποτελείται από τεμάχια μικρού σχετικά μεγέθους. Π.χ. για τη λήψη προϊόντος μεγέθους 6 cm, το άνοιγμα της τροφοδοσίας πρέπει να είναι 60×40 cm ή μικρότερο. Αν επιδιώκεται η παραγωγή προϊόντος μικρού μεγέθους από τη θραύση υλικού μεγάλου σχετικά μεγέθους, π.χ. η παραγωγή τεμαχίων μέσου μεγέθους 6 cm από υλικό που περιέχει και τεμάχια μεγέθους περίπου 80 cm, τότε ή εκλέγεται θραυστήρας άλλου τύπου (σχ. 6.2δ), ή χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι διαδοχικοί θραυστήρες με σιαγόνες. Στην περίπτωση αυτή, ο πρώτος θραυστήρας θα έχει άνοιγμα τροφοδοσίας 120×90 cm, ώστε να δέχεται

τα τεμάχια των 80 cm, και θα εκτελεί την **πρόθραυση** του υλικού σε τεμάχια μεγέθους 10 ή 15 cm. Ένας δεύτερος θραυστήρας (ή μάλλον μια ομάδα από όμοιους θραυστήρες που να προλαβαίνουν την κατεργασία της παραγωγής του πρώτου θραυστήρα με άνοιγμα τροφοδοσίας 60 × 40 cm ή 40 × 25 cm, θα δέχεται το προϊόν του προηγούμενου θραυστήρα και θα εκτελεί την τελική θραύση του υλικού μέχρι του μεγέθους των 6 cm.

Από τον πίνακα 6.2.1 βλέπουμε επίσης ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ελάττωση μεγέθους, που πραγματοποιεί ένας θραυστήρας, τόσο μικρότερη γίνεται η παροχή του. Π.χ. ο θραυστήρας με άνοιγμα τροφοδοσίας 40×25 cm, όταν παράγει προϊόν μεγέθους 8 cm, έχει παροχή 22 t/h, ενώ, όταν το προϊόν είναι μεγέθους 4 cm, η παροχή του είναι μόνο 8 t/h. Αυτό εξηγείται εύκολα, διότι, όπως είπαμε προηγουμένως, η ελάττωση μεγέθους των στερεών απαιτεί την κατανάλωση μηχανικής ενέργειας, η ποσότητα της οποίας είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι και η ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων του υλικού. Επομένως, η μηχανική ισχύς του θραυστήρα επαρκεί για μικρότερη παροχή υλικού, όταν η ελάττωση μεγέθους είναι σχετικά μεγάλη (δηλαδή από μέγιστο μέγεθος 40 × 25 cm σε 4 cm) και για μεγαλύτερη παροχή, όταν η ελάττωση μεγέθους είναι σχετικά μικρή (από μέγιστο μέγεθος 40 × 25 cm σε 8 cm).

Ο πίνακας 6.2.1 δείχνει την ωριαία παροχή σε τόννους ανά ώρα (t/h).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.1.

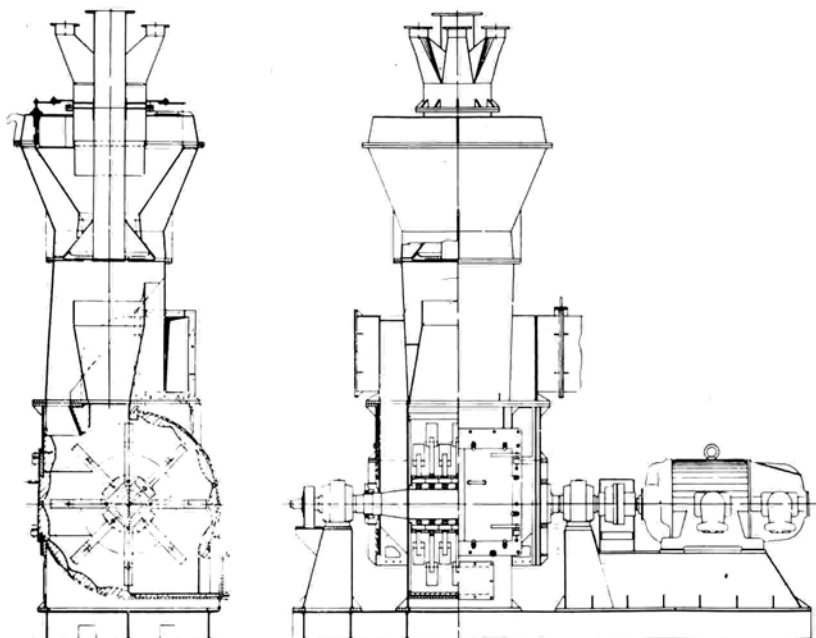
Τροφοδοσία και παροχή θραυστήρων με σιαγόνες

Άνοιγμα τροφοδοσίας	Μέσο μέγεθος παραγόμενου προϊόντος						
	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
40 × 25 cm	8 t/h	14 t/h	22 t/h	28 t/h			
60 × 40 cm		25 t/h	36 t/h	48 t/h	70 t/h		
90 × 60 cm			50 t/h	67 t/h	110 t/h	180 t/h	
120 × 90 cm				100 t/h	155 t/h	225 t/h	
150 × 120 cm				120 t/h	210 t/h	265 t/h	340 t/h
180 × 150 cm						350 t/h	460 t/h
210 × 150 cm						380 t/h	510 t/h

6.2.2 Θραυστήρες με σφυριά.

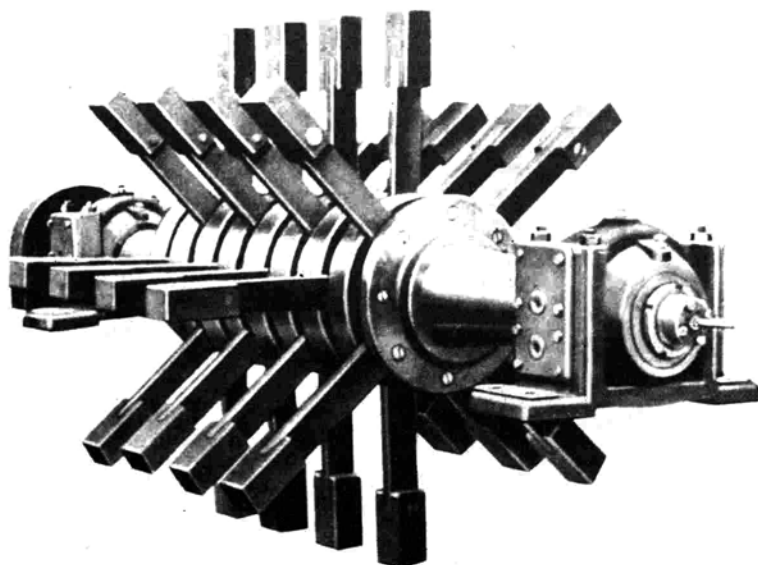
Για τη θραύση υλικών μέτριας ή σχετικά μικρής σκληρότητας, χρησιμοποιείται συνήθως ο **θραυστήρας με σφυριά** (σχ. 6.2β). Αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο άξονα, στον οποίο είναι προσαρμοσμένα με αρθρώσεις πολλά κινητά σφυριά (σχ. 6.2γ). Κατά την ταχεία περιστροφή του άξονα, τα σφυριά κτυπούν με δύναμη τα μεγάλα τεμάχια του υλικού, τα θρυμματίζουν και συνεχίζουν τον τεμαχισμό τους με συνεχείς κρούσεις επάνω στην εσωτερική αυλακωτή επένδυση του θραυστήρα (σχ. 6.2β) ή επάνω σε μία εσχάρα, στο κάτω μέρος του (σχ. 6.2δ).

Στην πρώτη περίπτωση, ο τεμαχισμός του υλικού φθάνει μέχρι μεγέθους σκό-



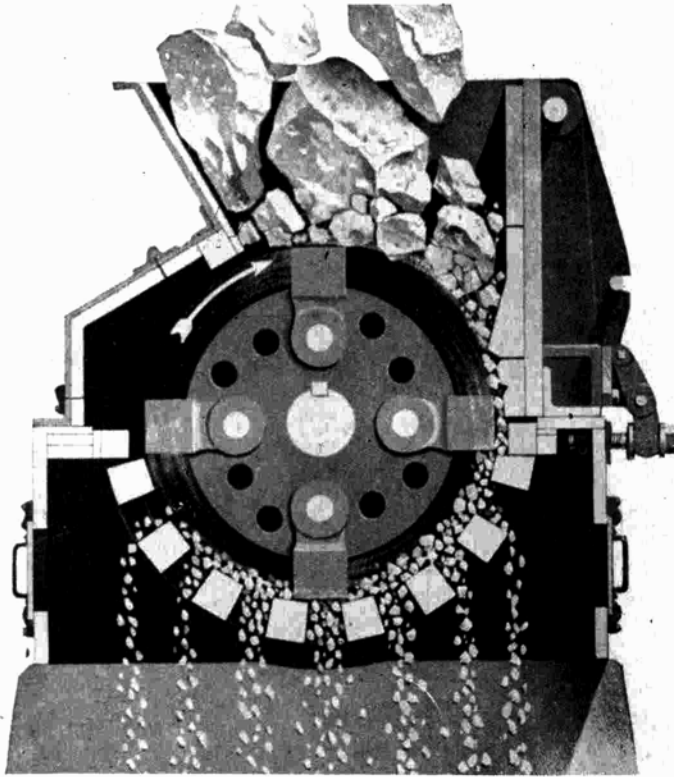
Σχ. 6.2β.

Όψεις και τομές ενός θραυστήρα με σφυριά και της διατάξεως τροφοδοσίας και παραλαβής του υλικού. Δεξιά είναι ο ηλεκτροκινητήρας, για την περιστροφή του άξονα του θραυστήρα.



Σχ. 6.2γ.

Άξονας με 32 σφυριά, για το θραυστήρα του σχήματος 6.2β.



Σχ. 6.26.

Θραυστήρας με σφυριά, για τη θραύση μεγάλων όγκων ασβεστόλιθου σε τεμάχια μεγέθους 5 έως 10 cm περίπου.

νης και η παραλαβή της γίνεται με σύστημα αερομεταφοράς. Έχομε δηλαδή θραύση και άλεση του υλικού στο ίδιο μηχάνημα και επομένως ο θραυστήρας μπορεί να χαρακτηριστεί επίσης σαν μύλος. Στην περίπτωση του σχήματος 6.26, το μέγεθος των τεμαχίων του προϊόντος της θραύσεως καθορίζεται από το πλάτος των ανοιγμάτων μεταξύ των ράβδων της εσχάρας.

6.3 Άλεση.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, **άλεση** ονομάζεται η ελάττωση του μεγέθους των στερεών σε προχωρημένο στάδιο. Τα αντίστοιχα μηχανήματα είναι οι **μύλοι** αλέσεως ή **τριβεία**, με κυριότερους τύπους τους μύλους με μυλόπετρες, τους σφαιρόμυλους και τους κυλινδρόμυλους.

6.3.1 Μύλοι με μυλόπετρες.

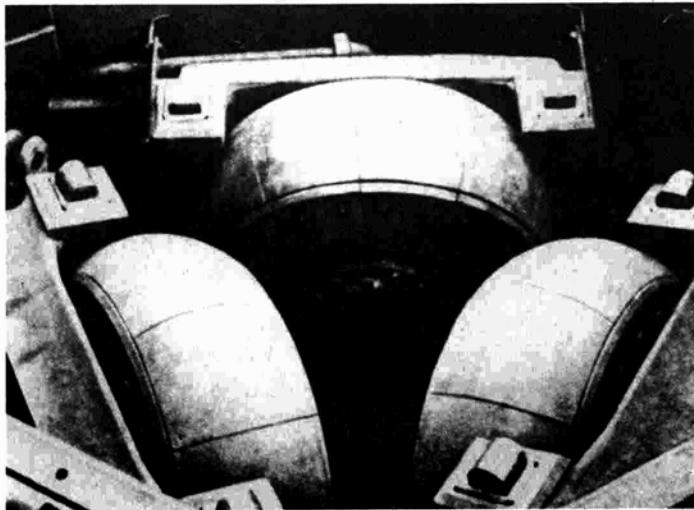
Ο αρχαιότερος ίσως τύπος μηχανήματος για την άλεση στερεών υλικών, είναι ο **μύλος με οριζόντιες μυλόπετρες**. Παλαιότερα τον χρησιμοποιούσαν στην άλεση

του σιταριού και των άλλων δημητριακών καρπών, για την παραγωγή αλεύρου. Μικροί μύλοι του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα, όχι όμως για την παραγωγή αλεύρου (έχουν αντικατασταθεί στον τομέα αυτό από τους κυλινδρόμυλους), αλλά στη βιομηχανία χρωμάτων, φαρμάκων ή καλλυντικών. Αποτελούνται από δύο κυκλικές μυλόπετρες δηλαδή δύο βαριούς δίσκους με λεπτές αυλακώσεις χαραγμένες στην επιφάνεια τους, ο κατώτερος από τους οποίους είναι πλήρης ενώ ο ανώτερος είναι διάτρητος στο κέντρο.

Οι μυλόπετρες κατασκευάζονται από γρανίτη, αμμόλιθο ή άλλα σκληρά πετρώματα. Η πλήρης μυλόπετρα μένει ακίνητη. Επάνω της περιστρέφεται η διάτρητη μυλόπετρα, στο κέντρο της οποίας γίνεται η τροφοδοσία των τεμαχίων του υλικού που πρόκειται να αλεστεί. Αυτό παρασύρεται στις αυλακώσεις των δύο επιφανειών, συνθλίβεται ανάμεσα στις μυλόπετρες και βγαίνει αλεσμένο από την περιφέρειά τους. Τον τρόπο λειτουργίας του μύλου με οριζόντιες μυλόπετρες μπορούμε να καταλάβουμε, καλύτερα, από το σύμβολό του στο σχήμα 6.4. Αυτό, δηλαδή η παρατήρηση των συμβόλων για τη διευκόλυνση της κατανόησης της λειτουργίας, ισχύει βέβαια για όλες τις βιομηχανικές συσκευές.

Πολύ μεγαλύτερη εφαρμογή έχουν οι **μύλοι με κατακόρυφες μυλόπετρες**. Αποτελούνται από 2 ή 3 βαριούς μεταλλικούς τροχούς, που συγκρατούνται όρθιοι σε μία περιστρεφόμενη λεκάνη. Η κίνηση της λεκάνης παρασύρει τους μεταλλικούς τροχούς σε επί τόπου περιστροφή, με αποτέλεσμα τη σύνθλιψη του υλικού, που τροφοδοτείται στη λεκάνη. Το αλεσμένο προϊόν παρασύρεται έξω από το μύλο με σύστημα αερομεταφοράς, η περνά από το διάτρητο πυθμένα της λεκάνης.

Όπως φαίνεται στη φωτογραφία του σχήματος 6.3α, οι επιφάνειες κλίσεως των τροχών αποτελούνται από χωριστά τμήματα που μπορούν να αποσυναρμολογηθούν, ώστε να γίνεται εύκολα αντικατάστασή τους, όταν φθείρονται από τη χρή-



Σχ. 6.3α.

Το εσωτερικό ενός μεγάλου μύλου με τρεις κατακόρυφες μυλόπετρες.


Σχ. 6.3β.

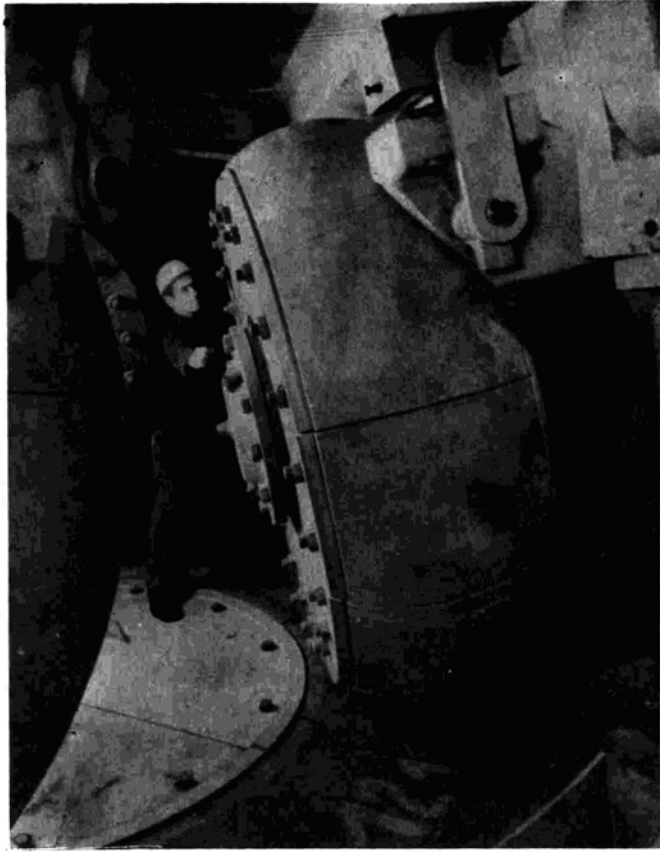
Επιθεώρηση της φθοράς σε ένα μύλο με μολόπετρες.

ση. Στο σχήμα 6.3β βλέπουμε ένα τεχνίτη, που επιθεωρεί τις φθορές στο εσωτερικό ενός μύλου και στο σχήμα 6.3γ το σφίξιμο των περικοχλίων, για τη προσαρμογή της μεταλλικής επενδύσεως των τροχών.

6.3.2 Σφαιρόμυλοι.

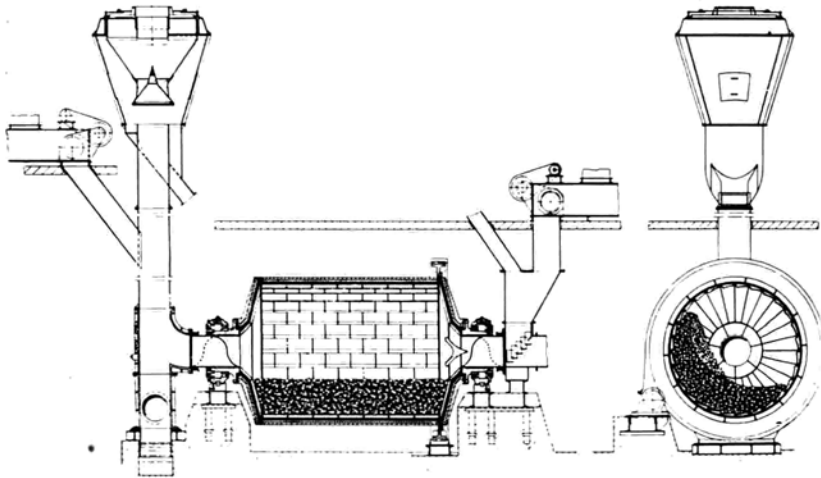
Η περισσότερο συνηθισμένη από τις βιομηχανικές συσκευές αλέσεως είναι ο **σφαιρόμυλος**, δηλαδή ένας περιστρεφόμενος οριζόντιος κυλινδρικός θάλαμος, που είναι κατά το $\frac{1}{3}$ περίπου γεμάτος με χαλύβδινες σφαίρες (σχ. 6.3δ και 6.3ε). Στην περίπτωση του σφαιρόμυλου του σχήματος 6.3δ η τροφοδοσία του υλικού γίνεται στο δεξιό μέρος του θάλαμου. Κατά την περιστροφή, προκαλείται στο εσωτερικό του θάλαμου μία συνεχής κύλιση των χαλυβδίνων σφαιρών, οι οποίες αναμιγνύονται με το υλικό, κτυπούν και τρίβουν τα τεμάχιά του και το μετατρέπουν σε σκόνη. Η απομάκρυνση του αλεσμένου προϊόντος από το σφαιρόμυλο γίνεται μέσω του πλέγματος μιας εσχάρας, ή όπως εικονίζεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 6.3δ, με σύστημα αερομεταφοράς.

Όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις του κυλινδρικού θάλαμου, τόσο μεγαλύτερο φορτίο σφαιρών μπορεί να περιλάβει και τόσο μεγαλύτερη είναι η παροχή



Σχ. 6.3γ.

Συναρμολόγηση των κατακορύφων τροχών σε ένα μύλο με μυλόπετρες.



Σχ. 6.3δ.

Όψεις και τομές ενός σφαιρόμυλου και των διατάξεων τροφοδοσίας και παραλαβής του υλικού.

του. Εκτός από τους παραπάνω δύο παράγοντες, η παροχή του σφαιρόμυλου εξαρτάται επίσης, όπως είδαμε και στην περίπτωση του θραυστήρα με σιαγόνες, από το βαθμό ελαττώσεως του μεγέθους των τεμαχίων του υλικού, με το οποίο τροφοδοτείται. Στον πίνακα 6.3.1 βλέπομε το φορτίο σφαιρών και την ωριαία παροχή για σφαιρόμυλους με διάφορες τιμές διαμέτρου και μήκους του κυλινδρικού θαλάμου, ανάλογα με την πραγματοποιούμενη μέση ελάττωση του μεγέθους του υλικού τροφοδοσίας. Οι αριθμοί είναι κατά προσέγγιση και ισχύουν για υλικά μέτριας σκληρότητας.

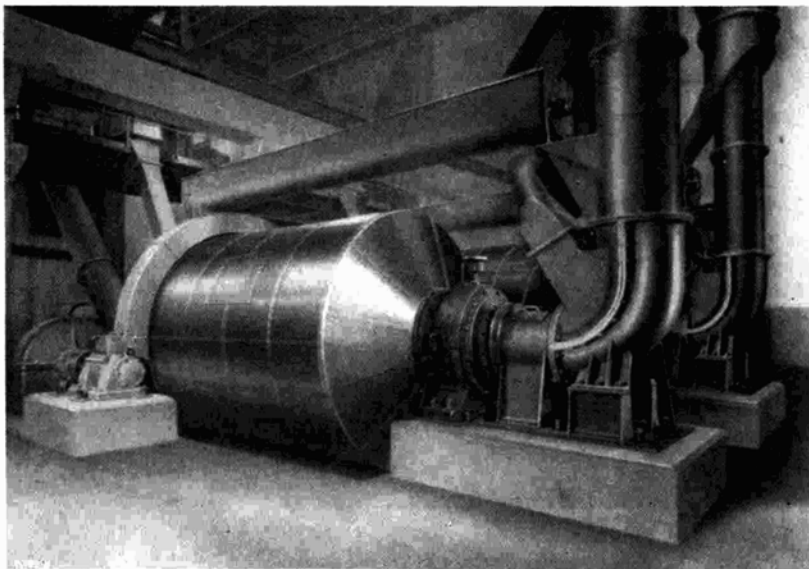
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.1.

Φορτία σφαιρών και παροχές σφαιρομύλων διαφόρων διαστάσεων

Διάμετρος × μήκος του σφαιρόμυλου	Φορτίο σφαιρών	Παροχή για μέση ελάττωση μεγέθους		
		από 12 σε 0,3 mm	από 12 σε 0,2 mm	από 6 σε 0,15 mm
0,9 × 0,6 m	0,5 t	12 t/h	9 t/h	5 t/h
0,9 × 1,2 m	0,9 t	24 t/h	18 t/h	10 t/h
1,2 × 1,2 m	1,5 t	42 t/h	30 t/h	20 t/h
1,5 × 1,2 m	2,3 t	80 t/h	55 t/h	30 t/h
1,5 × 1,8 m	3,4 t	120 t/h	85 t/h	50 t/h
1,8 × 1,5 m	4,5 t	210 t/h	150 t/h	90 t/h
1,8 × 1,8 m	5,4 t	250 t/h	175 t/h	100 t/h
2,4 × 1,8 m	12,6 t	620 t/h	450 t/h	260 t/h

Τα στοιχεία των πινάκων της λειτουργίας των βιομηχανικών συσκευών και μηχανημάτων, όπως είναι και οι 6.2.1 και 6.3.1, είναι συνήθως εμπειρικά και προέρχονται από βιομηχανικές εφαρμογές. Επομένως, οι πίνακες αυτοί είναι πολύ χρήσιμοι στην επιλογή του κατάλληλου τύπου και μεγέθους συσκευών και μηχανημάτων για την εκτέλεση κάθε συγκεκριμένης βιομηχανικής διεργασίας. Παραδείγματα για τη χρησιμοποίηση των πινάκων 6.2.1 και 6.3.1 περιέχονται στις ασκήσεις στο τέλος του κεφαλαίου.

Τα εσωτερικά τοιχώματα των σφαιρομύλων φέρουν επένδυση από χαλύβδινες πλάκες. Αυτές όπως και οι χαλύβδινες σφαίρες του φορτίου τους παθαίνουν σημαντική φθορά, λόγω των κρούσεων και των άλλων καταπονήσεων, κατά τη διάρκεια της αλέσεως των υλικών. Συνήθως χρησιμοποιείται χάλυβας με μικρή πρόσμιξη χρωμίου (1,0 έως 1,5% Cr) και η φθορά του υπολογίζεται σε 50 έως 250 g (ανά τόνο του προϊόντος της αλέσεως) στις πλάκες της επενδύσεως και σε 500 έως 1500 g, πάλι ανά τόνο του προϊόντος της αλέσεως, στις σφαίρες του φορτίου του μύλου. Η αντικατάσταση της επενδύσεως του σφαιρόμυλου και κυρίως η απαιτούμενη συχνή προσθήκη νέων σφαιρών στο φορτίο του, για την αντιμετώπιση της φθοράς, αποτελεί μία αξιόλογη συνεχή δαπάνη στις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν σφαιρόμυλους. Γι' αυτό, σε ορισμένες περιπτώσεις, αποδείχθηκε οικονομικά πλεονεκτικότερη η κατασκευή των σφαιρών, ή ακόμη και της επενδύσεως, από χυτοσίδηρο με υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο (11 έως 17% Cr). Το κόστος των σφαιρών του κράματος αυτού είναι περίπου διπλάσιο σε σύγκριση με του χάλυβα



Σχ. 6.3ε.

Φωτογραφία του σφαιρόμυλου του σχήματος 6.3δ.

με 1,0 έως 1,5% Cr, αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι πολύ μεγαλύτερη, ώστε να δικαιολογείται η προτίμηση προς το ακριβότερο και ανθεκτικότερο υλικό κατασκευής. Συγκεκριμένα, οι σημερινές τιμές των δύο παραπάνω υλικών είναι 120 δρχ/kg για το πρώτο και 60 δρχ/kg για το δεύτερο. Βλέπουμε, με την ευκαιρία, ότι οι χάλυβες και τα συνηθισμένα κράματα των βιομηχανικών κατασκευών δεν είναι ιδιαίτερα ακριβά υλικά.

Σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. κατά την παρασκευή των χρωμάτων ή της πορσελάνης, το προϊόν της αλέσεως δεν επιτρέπεται να αποκτήσει προσμίξεις σιδήρου ή άλλων μετάλλων, που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν το χρώμα του, να μειώσουν την αντοχή του κλπ. Επομένως η επένδυση και οι σφαίρες των χρησιμοποιούμενων σφαιρομύλων δεν επιτρέπεται να είναι χαλύβδινο. Στις περιπτώσεις αυτές, η επένδυση και οι σφαίρες κατασκευάζονται από μη μεταλλικά ανθεκτικά υλικά, όπως ο γρανίτης, η πορσελάνη ή οι φυσικές κροκάλες της θάλασσας.

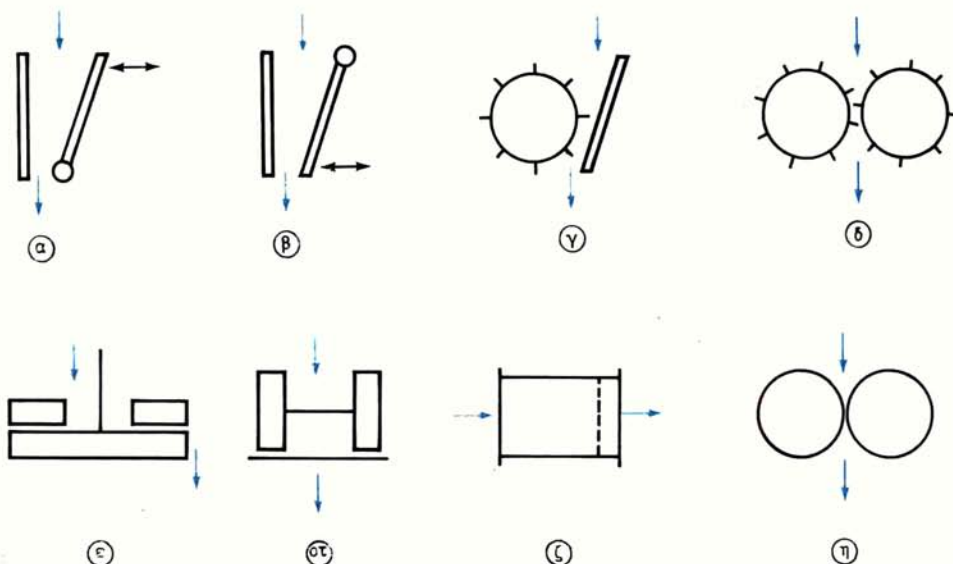
6.3.3 Κυλινδρόμυλοι.

Η άλεση των σχετικά μαλακών υλικών, όπως είναι οι δημητριακοί καρποί, οι χρωστικές ύλες και διάφοροι πολτοί, γίνεται συνήθως σε **κυλινδρόμυλους**. Αποτελούνται από δύο παράλληλους, οριζόντιους κυλίνδρους με αυλακώσεις στην επιφάνειά τους, που περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες. Όπως δείχνει και το αντίστοιχο σύμβολο στο σχήμα 6.4, το υλικό ρίχνεται στο χώρο μεταξύ των δύο κυλινδρών, συμπιέζεται από αυτούς και κόβεται από τις αυλακώσεις, καθώς κι-

νούνται με διαφορετική ταχύτητα. Η λεπτότητα του προϊόντος της αλέσεως καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ των δύο κυλίνδρων, η οποία ρυθμίζεται κατά βούληση.

6.4 Συμβολισμοί για την ελάττωση του μεγέθους των στερεών.

Στο σχήμα 4.2α είχαμε γνωρίσει τα σύμβολα δύο βιομηχανικών συσκευών ελάττωσης του μεγέθους των στερεών, δηλαδή του θραυστήρα με σφυριά και του σφαιρόμυλου. Οκτώ ακόμη σύμβολα παρουσιάζονται στο σχήμα 6.4. Τα δύο πρώτα δείχνουν τις κυριότερες παραλλαγές του θραυστήρα με σιαγόνες. Τα επόμενα δύο είναι για θραυστήρες με οδοντωτούς κυλίνδρους, η λειτουργία των οποίων είναι ανάλογη με του γνωστού μας ήδη κυλινδρόμυλου. Τα υπόλοιπα τέσσερα σύμβολα αντιστοιχούν στους διάφορους τύπους των μύλων αλέσεως, που περιγράψαμε.



Σχ. 6.4.

Συμβολικές απεικονίσεις θραυστήρων και μύλων.

α) Θραυστήρας με ταλάντωση στο άνω άκρο της κινητής σιαγόνας. β) Θραυστήρας με ταλάντωση στο κάτω άκρο της κινητής σιαγόνας. γ) Θραυστήρας με μονό οδοντωτό κύλινδρο. δ) Θραυστήρας με δύο οδοντωτούς κυλίνδρους. ε) Μύλος με οριζόντιες μυλόπετρες. στ) Μύλος με κατακόρυφες μυλόπετρες. ζ) Σφαιρόμυλος με εσχάρα στην πλευρά εξαγωγής του προϊόντος. η) Κυλινδρόμυλος.

Ερωτήσεις και Ασκήσεις.

1. Τι ονομάζεται **ειδική επιφάνεια** των στερεών σωμάτων και σε τι μονάδες εκφράζεται;
2. Γιατί επιδιώκεται συνήθως η αύξηση της ειδικής επιφάνειας των στερεών σωμάτων, που κατεργάζεται η χημική βιομηχανία;
3. Υπολογίσθηκε ότι η ειδική επιφάνεια μιας ποσότητας άμμου, αν οι κόκκοι της θεωρηθούν σφαιρικού σχήματος, αντιστοιχεί σε $40 \text{ m}^2/\text{kg}$. Ποια είναι η πραγματική ειδική επιφάνεια του υλικού, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 6.1.1; **(Απάντηση: $57,2 \text{ m}^2/\text{kg}$).**

4. Τι μειονεκτήματα μπορεί να παρουσιάσει η πολύ λεπτή κατανομή των στερεών σωματιδίων και πώς αντιμετωπίζονται;
5. Με ποιες μορφές μεταδίδεται η μηχανική ενέργεια στα τεμάχια των στερεών κατά τις διεργασίες ελαττώσεως του μεγέθους τους;
6. Διαλέξτε από τον πίνακα 6.2.1 το μικρότερο τύπο θραυστήρα με σιαγόνες, για τη θραύση του προϊόντος ενός λατομείου, από τεμάχια μεγέθους 50 cm περίπου σε τεμάχια μεγέθους 10 cm περίπου. Ποια είναι η παροχή του θραυστήρα αυτού;
(**Απάντηση:** θραυστήρας ανοίγματος τροφοδοσίας 90 × 60 cm, παροχή 67 t/h).
7. Γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις ελαττώσεως μεγέθους απαιτείται να προηγηθεί η πρόθραυση και να ακολουθεί η θραύση του υλικού;
8. Γιατί η παροχή ενός θραυστήρα ή ενός μύλου είναι αντιστρόφως ανάλογη από το βαθμό ελαττώσεως του μεγέθους του προϊόντος τους;
9. Διαλέξτε από τον πίνακα 6.2.1 τους απαιτούμενους θραυστήρες, του μικρότερου δυνατού τύπου, για τη θραύση 200 t/h στερεού υλικού μεγέθους τεμαχίων 100 cm σε προϊόν μέσου μεγέθους 8 cm.
(**Απάντηση:** Πρόθραυση με θραυστήρα 150 × 120 cm σε μεγέθη 15 ή 20 cm και θραύση με 5 θραυστήρες 40 × 25 cm).
10. Να περιγράψετε τη λειτουργία των μύλων με οριζόντιες και κατακόρυφες μυλόπετρες.
11. Με ποιους τρόπους μπορεί να γίνει η απομάκρυνση του αλεσμένου προϊόντος από τους σφαιρόμυλους;
12. Διαλέξτε από τον πίνακα 6.3.1 το μικρότερο σφαιρόμυλο, που μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα εργοστάσιο, για να αντιμετωπίζονται κατά καιρούς οι παρακάτω διάφορες ανάγκες αλέσεως:
 - α) η άλεση 100 t/h προϊόντος, από μέγεθος 12 mm σε μέγεθος 0,3 mm.
 - β) η άλεση 40 t/h προϊόντος, από μέγεθος 12 mm σε μέγεθος 0,2 mm.
 - γ) η άλεση 60 t/h προϊόντος, από μέγεθος 6 mm σε μέγεθος 0,15 mm.
 (**Απάντηση:** Διάμετρος 1,8 m × μήκος 1,5 m).
13. Πόση ποσότητα προσμίξεως σιδήρου και χρωμίου θα μεταφερθεί στο προϊόν 8ωρης αλέσεως της προηγούμενης ασκήσεως (περίπτωση α), λόγω φθοράς των σφαιρών και της επενδύσεως του μύλου, αν είναι κατασκευασμένες από χάλυβα με 1,0% Cr;
(**Απάντηση:** Περίπου 436 έως 1386 kg Fe και 4,4 έως 14 kg Cr).
14. Κάθε πότε θα πρέπει να γίνεται αναπλήρωση του φορτίου των χαλυβδίνων σφαιρών, στην περίπτωση της παραπάνω ασκήσεως; (**Απάντηση:** Κάθε 30 έως 90 ώρες αλέσεως περίπου).
15. Γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις θραύσεως και αλέσεως δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση μεταλλικών υλικών στην κατασκευή των επιφανειών των θραυστήρων και μύλων, που έρχονται σε επαφή με τα προϊόντα;
16. Σχεδιάστε το κατασκευαστικό διάγραμμα της εγκαταστάσεως προετοιμασίας των στερεών πρώτων υλών Α και Β ενός εργοστασίου, η οποία περιλαμβάνει τις παρακάτω διεργασίες ελαττώσεως μεγέθους. Πρόθραυση του υλικού Α σε θραυστήρα με σιαγόνες (ταλάντωση της κινητής σιαγόνας στο κάτω άκρο), θραύση στη συνέχεια σε δεύτερο θραυστήρα με σιαγόνες (ταλάντωση της κινητής σιαγόνας στο άνω άκρο) και άλεση του προϊόντος σε μύλο με κατακόρυφες μυλόπετρες. Θραύση του υλικού Β σε θραυστήρα με δύο οδοντωτούς κυλίνδρους και άλεση του προϊόντος σε σφαιρόμυλο με εσχάρα στην πλευρά εξαγωγής. Ανάμιξη των δύο αλεσμένων προϊόντων και υποβολή του μίγματος σε τελική λεπτότερη άλεση σε ένα δεύτερο σφαιρόμυλο χωρίς εσχάρα εξαγωγής, αλλά με απομάκρυνση του αλεσμένου μίγματος με σύστημα αερομεταφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΑΝΑΜΙΞΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

7.1 Γενικά.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι η ελάττωση του μεγέθους των στερεών επιδιώκεται κυρίως για την απόκτηση μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας, ώστε οι φυσικές και χημικές δράσεις των σωμάτων να πραγματοποιούνται με τον κατά το δυνατό ταχύτερο και πληρέστερο τρόπο. Η αύξηση όμως της ειδικής επιφάνειας των σωμάτων δεν είναι παρά το πρώτο μόνο βήμα για την πραγματοποίηση του παραπάνω σκοπού. Πρέπει να συνοδεύεται από τη **διασπορά** των τεμαχίων ή των κόκκων του στερεού, τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν μεταξύ τους, να αναμιχθούν με άλλα σώματα και να συναντήσουν τα μόρια ή τα άτομα των σωμάτων αυτών, ώστε να εκδηλωθούν οι διάφορες αλληλεπιδράσεις που προκαλούν τις φυσικές και χημικές μεταβολές (ανταλλαγή θερμικής ενέργειας, διάλυση, χημική αντίδραση κλπ.)

Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση και τις ιδιότητες των διαφόρων σωμάτων, η πλήρης ανάμιξή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί ευκολότερα ή δυσκολότερα και να οδηγήσει είτε στο σχηματισμό **διαλυμάτων**, δηλαδή **ομογενών μιγμάτων**, όπου τα συστατικά κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα, είτε στο σχηματισμό **ετερογενών μιγμάτων**, που αποτελούνται από διακεκριμένα ομογενή μέρη. Τα παραπάνω ισχύουν ανεξάρτητα αν η ανάμιξη των σωμάτων συνοδεύεται από χημικές αντιδράσεις. Στην περίπτωση αυτή, στο σχηματισμό των μιγμάτων θα μετέχουν και τα προϊόντα των αντιδράσεων.

Η ανάμιξη των αερίων δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα, γιατί η διάχυση των μορίων τους γίνεται αυθόρμητα και σχηματίζουν πάντοτε ομογενή μίγματα. Αν χρειάζεται να επιταχυνθεί το φαινόμενο, αρκεί να χρησιμοποιηθεί ένας φυσητήρας για τη δημιουργία ρευμάτων μεταξύ των αερίων.

Στα υγρά, που τα μόριά τους είναι πολύ δυσκίνητα σε σύγκριση με τα μόρια των αερίων, απαιτείται για την αποτελεσματική τους ανάμιξη η κατανάλωση μηχανικής ενέργειας ή ίσως και θερμικής διεγέρσεως. Ακόμη δυσκολότερη είναι η ανάμιξη των στερεών, γιατί δεν μπορούν να δημιουργηθούν ρεύματα ροής στη στερεή μάζα, χωρίς τη συμμετοχή αερίων ή υγρών σωμάτων.

Στις επόμενες παραγράφους θα εξετάσουμε τις κυριότερες βιομηχανικές διεργασίες αναμίξεως, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των σωμάτων που συμμετέχουν σ' αυτές.

7.2 Ανάμιξη στερεών.

Οι συσκευές αναμίξεως των στερεών παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τις συσκευές μεταφοράς και ελαττώσεως μεγέθους, που γνωρίσαμε σε προηγούμενα κεφάλαια. Οι συνηθέστεροι τύποι είναι τα **περιστρεφόμενα δοχεία**, ανάλογα με το σφαιρόμυλο του σχήματος 6.3δ, χωρίς όμως το φορτίο των σφαιρών. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η μπετονιέρα για την ανάμιξη τσιμέντου, άμμου και σκύρων (χαλίκια) με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού (σχ. 7.2α). Διαφορετική μορφή παρουσιάζει ο **αναμικτήρας σκόνης** του σχήματος 7.2β, αλλά στηρίζεται στην ίδια αρχή λειτουργίας. Αποτελείται από δύο κυλίνδρους ενωμένους σε σχήμα V, που περιστρέφονται περί έναν οριζόντιο άξονα. Η πλήρωση γίνεται από τα μεγάλα ανοίγματα στις βάσεις των κυλίνδρων, περιστρέφεται ο αναμικτήρας επί 10 λεπτά περίπου και το έτοιμο μίγμα λαμβάνεται από το στόμιο στο κάτω μέρος, με το χειρισμό μιας βαλβίδας. Η τοποθέτηση πτερυγίων ή ξέστρων στον περιστρεφόμενο άξονα βοηθάει στην πληρέστερη ανάμιξη των υλικών.



Σχ. 7.2α.

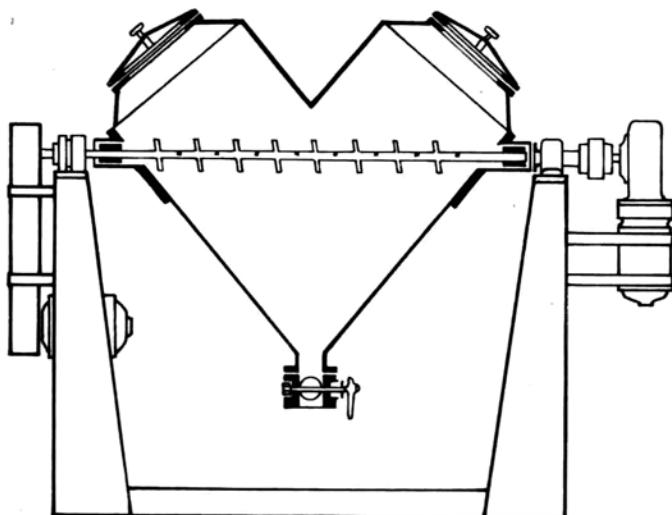
Αυτοφορτωνόμενη και αυτομεταφερόμενη μπετονιέρα, τοποθετημένη σε όχημα, με ικανότητα παραγωγής 8-12 m³ μπετόν την ώρα. Η χωρητικότητα του κάδου της μπετονιέρας είναι 3 m³.

Η **σκάφη με κοχλίες** είναι ένας άλλος τύπος αναμικτήρα, κατασκευής και λειτουργίας όμοιας με του δίδυμου μεταφορικού κοχλία (σχ. 5.2θ). Η μόνη διαφορά είναι ότι στον αναμικτήρα τα δύο άκρα της σκάφης είναι κλειστά, ώστε το υλικό να παραμένει μέσα στο χώρο της και να αναμοχλεύεται από τους κοχλίες μέχρι να αποκτήσει ομοιόμορφη σύσταση.

7.3 Ανάμιξη υγρών.

7.3.1 Διαλύματα και γαλακτώματα.

Η ανάμιξη δύο ή περισσότερων υγρών μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό



Σχ. 7.2β.

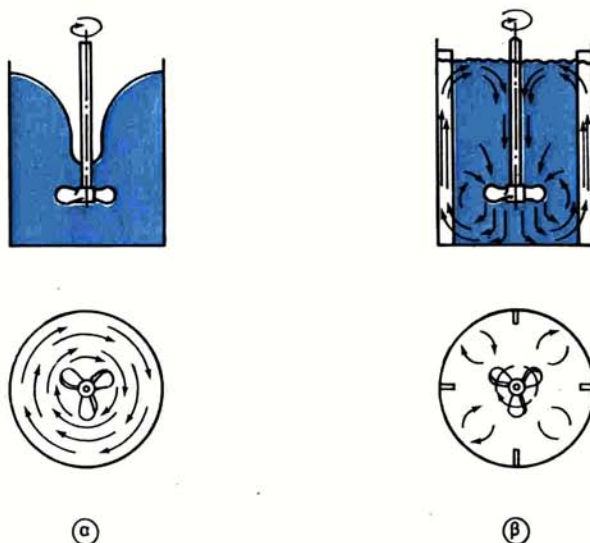
Περιστροφικός αναμικτήρας σκόνης σχήματος V.

διαλύματος, που είναι ομοιογενές μίγμα, η στο σχηματισμό **γαλακτώματος**, δηλαδή ετερογενούς μίγματος όπου ένα υγρό είναι διασπαρμένο στη μάζα άλλου υγρού, σε μορφή μικρών σταγόνων, μεγέθους συνήθως 1 έως 2 μm . Παράδειγμα της πρώτης περιπτώσεως είναι η αραίωση ενός υδατικού διαλύματος ισχυρού οξέος με την προσθήκη νερού. Αντίθετα, το γάλα είναι ένα γαλάκτωμα με σταγονίδια λίπους διασπαρμένα στο νερό.

7.3.2 Ανάδευση με μηχανικό αναδευτήρα.

Η εκτέλεση και των δύο παραπάνω διεργασιών, της διαλύσεως και της γαλακτωματοποιήσεως των υγρών, γίνεται συνήθως σε **δοχείο αναδέυσεως**. Αποτελείται από ένα ανοικτό ή κλειστό κυλινδρικό δοχείο, που φέρει ένα **αναδευτήρα** για την ανακίνηση του περιεχόμενου υγρού και τη δημιουργία ρευμάτων ροής στη μάζα του. Αν συγχρόνως με την ανάμιξη απαιτείται θέρμανση ή ψύξη του υγρού, το δοχείο συμπληρώνεται με ένα εξωτερικό **μανδύα** ή μία εσωτερική σωλήνωση (**σερπαντίνα**) για την κυκλοφορία του θερμαντικού ή του ψυκτικού μέσου (νερό, ατμός, διάλυμα άλης κλπ).

Με την τοποθέτηση **ανακλαστήρων**, δηλαδή εμποδίων στην κίνηση του υγρού μέσα στο δοχείο (σχ. 7.3α) και τη χρησιμοποίηση αναδευτήρων διαφόρων τύπων (σχ. 7.3β), ανάλογα με τις ιδιότητες του υγρού, επιδιώκεται η δημιουργία ακανόνιστων ρευμάτων που εμπλέκονται και παρασύρουν ολόκληρη τη μάζα του υγρού στη διαδικασία της αναμίξεως. Η διάμετρος του αναδευτήρα τύπου έλικας ή τουρμπίνας είναι συνήθως τό $\frac{1}{3}$ της διαμέτρου του δοχείου, ενώ ο τύπος άγκυρας φθάνει σχεδόν μέχρι τα τοιχώματα για να αποσπά την ποσότητα του παχύρρευστου υγρού που προσκολλάται στην επιφάνειά τους.



Σχ. 7.3α.

Η περιστροφή του αναδευτήρα δημιουργεί κυκλικά ρεύματα και φυγόκεντρες δυνάμεις, που προκαλούν, στο κέντρο του δοχείου, το σχηματισμό χοάνης από τη δίνη του υγρού και εμποδίζουν την καλή ανάμιξη (α). Η τοποθέτηση τεσσάρων ανακλαστήρων στα τοιχώματα του δοχείου διαμορφώνει ακτινικά ρεύματα, από το κέντρο προς την περιφέρεια και αντίστροφα, που εξασφαλίζουν την πλήρη ανάμιξη των υγρών (β).

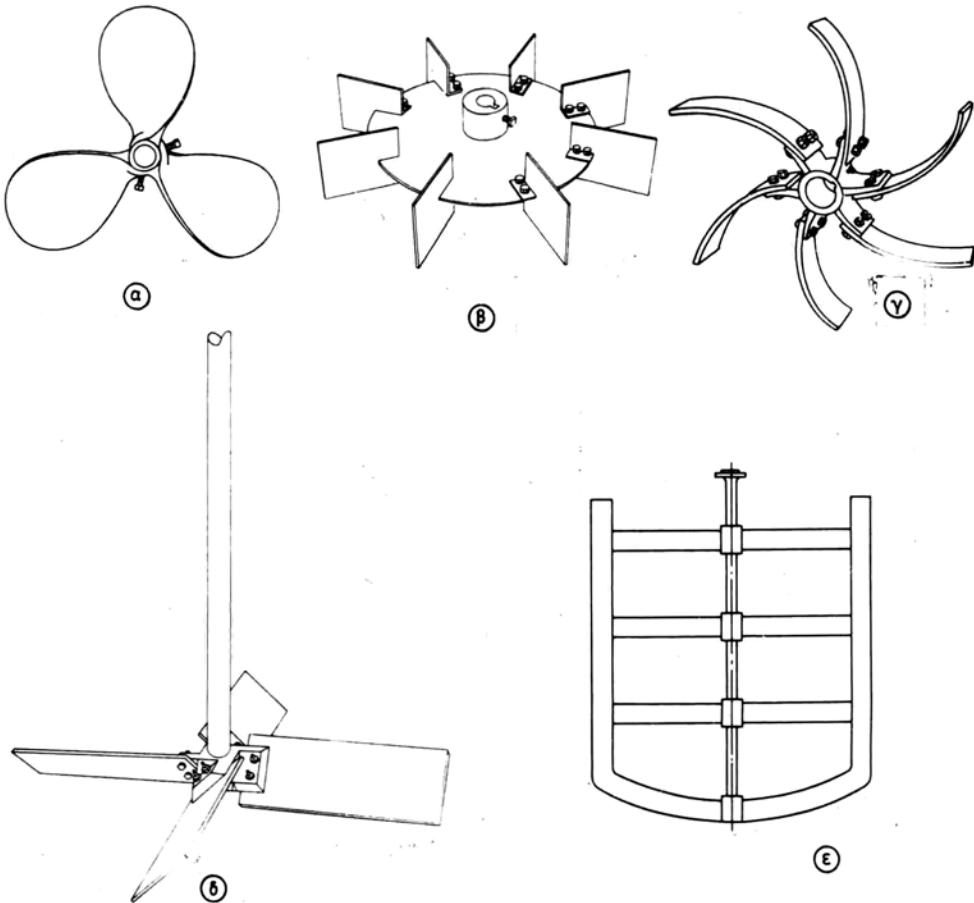
Η ισχύς που καταναλώνει ο αναδευτήρας εξαρτάται από τον όγκο του υγρού που περιέχεται στο δοχείο, από την ένταση της αναδέυσεως και από τη φύση του υγρού (λεπτόρρευστο ή παχύρρευστο). Στον πίνακα 7.3.1 δίνονται τα όρια της καταναλώσεως ισχύος για μέτρια, ισχυρή ή πολύ ισχυρή ανάδευση υδατικών διαλυμάτων στη συνήθη θερμοκρασία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.3.1.

Κατανάλωση ισχύος για την ανάδευση υδατικών διαλυμάτων

Ένταση αναδέυσεως	Μέτρια	Ισχυρή	Πολύ ισχυρή
Ισχύς, kW/m ³ υγρού	0,1 - 0,3	0,3 - 0,7	0,7 - 1,0

Από τη φύση και τις ιδιότητες των υγρών εξαρτάται επίσης η χρονική διάρκεια της αναδέυσεως που απαιτείται για τη συμπλήρωση της αναμιξέως τους. Όσο περισσότερο λεπτόρρευστα είναι τα υγρά και λιγότερο διαφορετικές οι πυκνότητές τους, τόσο ταχύτερα γίνεται η ανάμιξή τους. Συνήθως ο απαιτούμενος χρόνος είναι 5 έως 15 λεπτά.



Σχ. 7.3β.

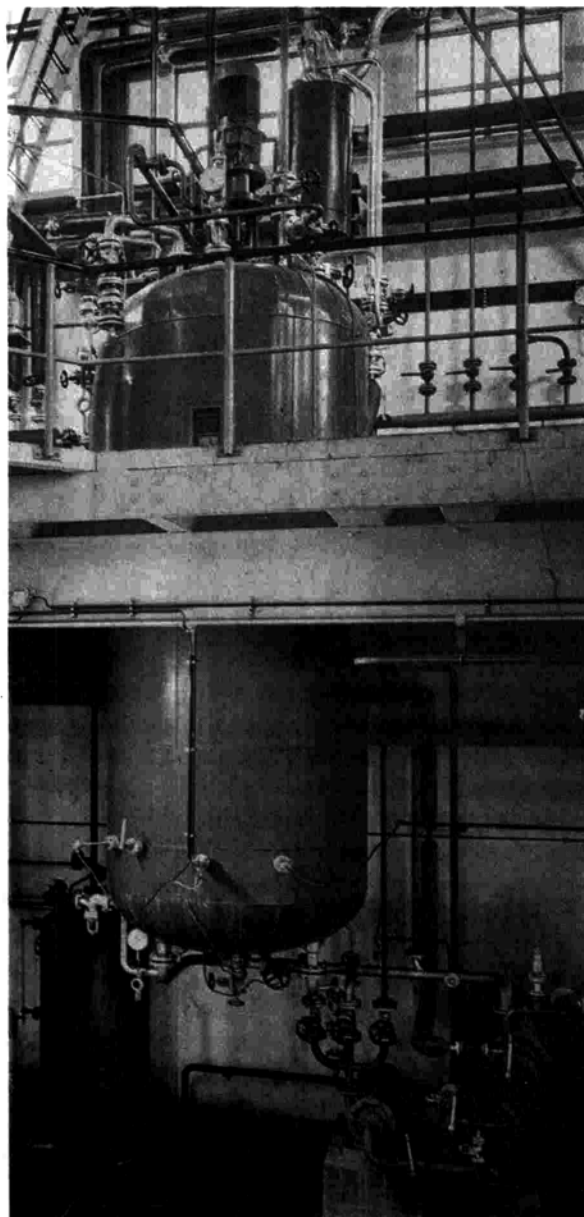
Διάφοροι τύποι αναδευτήρων για τα δοχεία αναδέυσεως.

α) Τύπου έλικας για λεπτόρρευστα υγρά, όπως π.χ. το νερό. β,γ,δ) Τύπου τουρμπίνας με επίπεδες, καμπύλες και υπό κλίση λεπίδες για ρευστά ενδιάμεσης ρευστότητας. ε) Τύπου άγκυρας για παχύρρευστα υγρά, όπως τα σιρόπια. Στα τρία πρώτα σχέδια διακρίνονται οι πλήμνες (αφαλοί) για την προσαρμογή των αναδευτήρων στον περιστρεφόμενο άξονα.

7.3.3 Εμφύσηση αέρα και φυγοκέντρωση.

Το δοχείο αναδέυσεως χρησιμοποιείται, σε διάφορες μορφές, για πολλές άλλες διεργασίες εκτός από την ανάμιξη υγρών, όπως η διάλυση και ο σχηματισμός αιωρημάτων στερεων, η απορρόφηση αερίων (σχ. 7.6β), η θέρμανση και η ψύξη υγρών, η πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων (σχ. 7.3γ) κλπ. Είναι ασφαλώς η σημαντικότερη συσκευή της χημικής βιομηχανίας, ανάλογη με το ποτήρι και το δοκιμαστικό σωλήνα του εργαστηρίου.

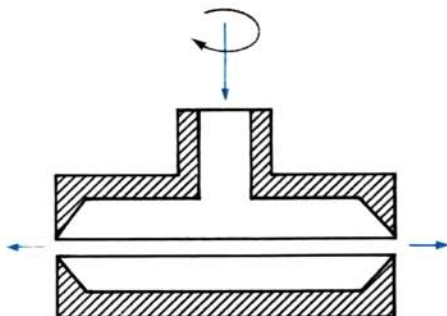
Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί για τη χρησιμοποίηση μηχανικών αναδευτήρων, η ανάμιξη των υγρών γίνεται με εμφύσηση αέρα στη μάζα τους, από ακροφύσια



Σχ. 7.3γ.

Ένα μεγάλο κλειστό δοχείο αναδεύσεως και διεξαγωγής χημικών αντιδράσεων υγρών, χωρητικότητας 5m^3 , που εκτείνεται σε δύο ορόφους του κτιρίου ενός εργοστασίου. Στο επάνω μέρος καταλήγουν οι σωληνώσεις των υγρών για την πλήρωση του δοχείου και στο κάτω είναι η σωλήνωση και η αντλία απομακρύνσεως του μίγματος. Επάνω στο κάλυμμα του δοχείου στηρίζεται ο ηλεκτροκινητήρας για την κίνηση του αναδευτήρα.

τοποθετημένα στο εσωτερικό του δοχείου αναδεύσεως. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως όταν επιδιώκεται πολύ ήρεμη ανάδευση, όπως π.χ. κατά την πλύση της νιτρογλυκερίνης με νερό, όπου η ορμητική κίνηση του μηχανικού αναδευτήρα θα μπορούσε να δημιουργήσει έκρηξη.



Σχ. 7.36.

Απλοποιημένο σχέδιο μιας φυγοκεντρικής συσκευής σχηματισμού γαλακτωμάτων.

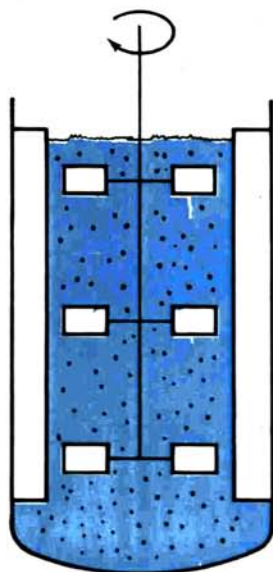
Δοχεία αναδεύσεως χρησιμοποιούνται επίσης για το σχηματισμό των **γαλακτωμάτων**. Αν δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική διασπορά, το μίγμα διαβιβάζεται στη συνέχεια σε **φυγοκεντρική συσκευή** όπως του σχήματος 7.3δ. Το μίγμα εισάγεται στο σωληνωτό περιστρεφόμενο άξονα, γεμίζει το εσωτερικό του δίσκου και εκτινάσσεται με ορμή από τη λεπτή χαραγή που υπάρχει στην περιφέρειά του, σε μορφή νέφους. Ο τρόπος αυτός εξασφαλίζει την πλήρη διασπορά των σταγόνων στο γαλακτώμα και χρησιμοποιείται στη βιομηχανική παρασκευή διαφόρων προϊόντων όπως η μαγιονέζα και οι σάλτσες φαγητού, φάρμακα, καλλυντικές κρέμες, χρώματα, εντομοκτόνα παρασκευάσματα κλπ.

7.4 Ανάμιξη μεταξύ υγρών και στερεών.

7.4.1 Διαλύματα και αιωρήματα.

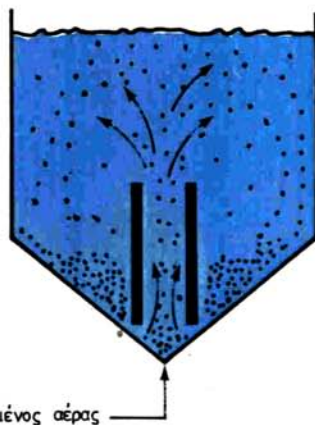
Η **διάλυση** στερεών σε υγρά γίνεται κατά κανόνα στα δοχεία αναδεύσεως που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Με τον ίδιο τρόπο σχηματίζονται συνήθως και τα **αιωρήματα** των στερεών σε υγρά. Χρησιμοποιούνται αναδευτήρες με πολλές επάλληλες τουρμπίνες με λεπίδες, ώστε να δημιουργούνται διαδοχικές ζώνες παρεμποδίσσεως της καθιζήσεως των κόκκων του στερεού στον πυθμένα του δοχείου (σχ. 7.4α).

Μια άλλη μέθοδος σχηματισμού αιωρημάτων στηρίζεται στη διαβίβαση πιεσμένου αερίου ή αέρα στον πυθμένα του δοχείου και τη δημιουργία ισχυρών ανοδικών ρευμάτων από τις ανερχόμενες φυσαλίδες προς την επιφάνεια του υγρού (σχ. 7.4β). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συνήθως στις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού των υγρών βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων. Εκεί γίνεται εκμετάλλευση της βιολογικής δράσεως μικροοργανισμών, που οξειδώνουν τις οργανικές ενώσεις των ακαθάρτων υδάτων και τις μετατρέπουν σε αβλαβές CO_2 . Η εμ-



Σχ. 7.4α.

Σχηματισμός αιωρήματος σε δοχείο αναδείξεως με ανακλαστήρες και τρεις επάλληλες τουρμπίνες με λεπίδες.



Πεπιεσμένος αέρας

Σχ. 7.4β.

Σχηματισμός αιωρήματος με εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα στον πυθμένα της δεξαμενής.

φύσηση του αέρα στη μάζα των αποβλήτων δεν εξασφαλίζει μόνο την αιώρηση της λάσπης που περιέχει τους μικροοργανισμούς, ώστε να έρχονται σε επαφή με τις διαλυμένες οργανικές ενώσεις αλλά επίσης εμπλουτίζει τα απόβλητα με το απαραίτητο οξυγόνο για την οξειδωτική δράση των μικροοργανισμών (σχ. 7.4γ).

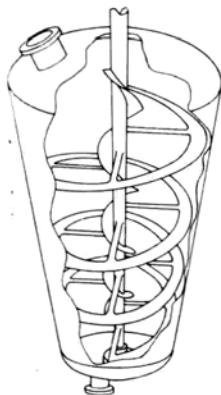
7.4.2 Ζυμωτήρια.

Όταν γίνεται ανάμιξη μεγάλης ποσότητας στερεού με σχετικά μικρή ποσότητα υγρού ή όταν το υγρό είναι πολύ παχύρρευστο, η μάζα που σχηματίζεται έχει τη μορφή πολτού. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται ειδικοί **αναμικτήρες πολτών** ή **ζυμωτήρια**. Πολύ καλή απόδοση έχει ο αναμικτήρας που εικονίζεται στο σχήμα 7.4δ. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει δύο διαφορετικές ελικώσεις προσαρμοσμένες στον περιστρεφόμενο άξονα, τη μία εσωτερική και την άλλη εξωτερική, που προκαλούν αντίθετες κινήσεις στο υλικό και συντελούν έτσι στην άριστη ανάμιξή του. Ο αναμικτήρας αυτός παρουσιάζει επίσης το πλεονέκτημα ότι είναι **συνεχούς λειτουργίας**. Η τροφοδοσία των διαφόρων συστατικών γίνεται συνεχώς, με σταθερό ρυθμό, από το στόμιο εισαγωγής που βρίσκεται στο κάλυμμα του δοχείου και η εξαγωγή του έτοιμου μίγματος ακολουθεί με τον ίδιο ρυθμό από το στόμιο του πυθμένα. Οι διαστάσεις του δοχείου, η ταχύτητα περιστροφής του άξονα και η παροχή των υλικών καθορίζονται, με μελέτη και δοκιμές, σε τρόπο ώστε ο χρόνος παραμονής του μίγματος στο εσωτερικό του αναμικτήρα να είναι ό-



Σχ. 7.4γ.

Συγκρότημα δεξαμενών αερισμού για το σχηματισμό αιωρήματος και το βιολογικό καθαρισμό υγρών βιομηχανικών αποβλήτων.



Σχ. 7.4δ.

Αναμικτήρας πολτών συνεχούς λειτουργίας, με διπλή ελίκωση στον περιστρεφόμενο άξονα.

σος χρειάζεται για την πραγματοποίηση της αναμίξεως.

Συνεχούς επίσης λειτουργίας είναι τα **ζυμωτήρια με κυλίνδρους**. Ο πολτός ζυμώνεται μεταξύ δύο ή περισσότερων κυλίνδρων, οι οποίοι περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες και η ανάμιξη επιτυγχάνεται κατά τρόπο ανάλογο με την άλεση των στερεών στους κυλινδρόμυλους.

Αντίθετα άλλοι αναμικτήρες (π.χ. του σχήματος 7.2) λειτουργούν, όπως είδαμε, περιοδικά με διαδοχική πλήρωση, περιστροφή και εκκένωση του δοχείου κατά παρτίδες προϊόντος. Είναι γενικός κανόνας ότι η λειτουργία των βιομηχανικών συ-

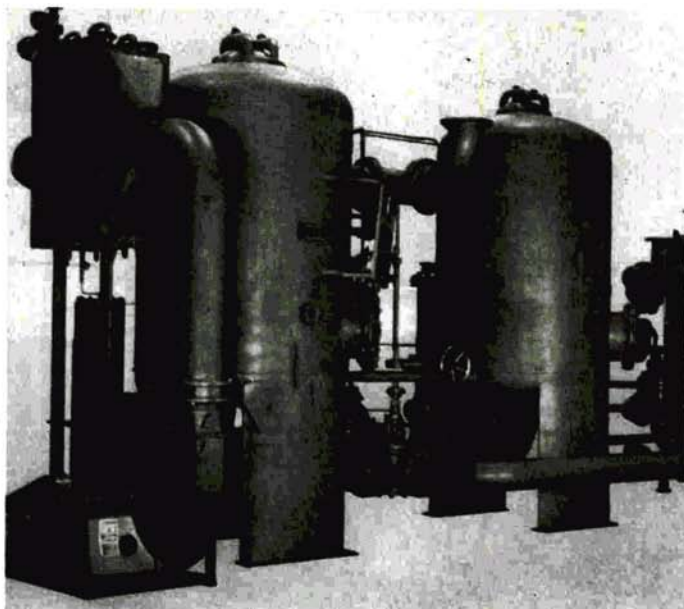
σκευών κατά συνεχή τρόπο σε σταθερές συνθήκες, όπως ο αναμικτήρας του σχήματος 7.4δ, συνεπάγεται συνήθως σημαντική εξοικονόμηση στην κατανάλωση της ενέργειας και δίνει τη δυνατότητα για εφαρμογή αυτοματισμού στην παραγωγική διαδικασία και αποτελεσματικό έλεγχο στην ποιότητα των προϊόντων. Πρόκειται δηλαδή για τρία πλεονεκτήματα που συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη βελτίωση κάθε βιομηχανικής μεθόδου.

7.5 Προσρόφηση αερίων και υγρών από στερεά.

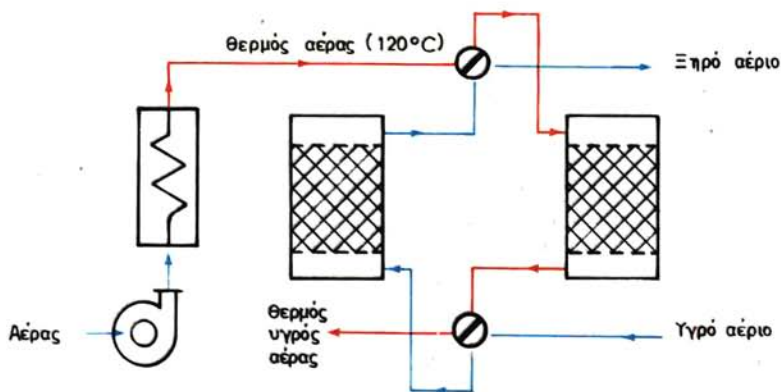
Τα στερεά σώματα παρουσιάζουν την ιδιότητα να εκδηλώνουν ελκτικές δυνάμεις στην επιφάνειά τους και να συγκρατούν ένα στρώμα από μόρια αερίων ή υγρών σωμάτων. Η ποσότητα των μορίων που μπορούν να συγκρατηθούν είναι ανάλογη με το εμβαδόν της επιφάνειας του στερεού η δε ένταση των ελκτικών δυνάμεων είναι διαφορετική για διάφορα αέρια ή υγρά, καθώς εξαρτάται από τη μοριακή τους δομή. Το φαινόμενο ονομάζεται **προσρόφηση** και έχει σημαντική βιομηχανική εφαρμογή, κυρίως στην εκλεκτική απομάκρυνση ορισμένων ατμών και διαλυμένων σωμάτων από τα αέρια μίγματα ή τα διαλύματα υγρών, στα οποία περιέχονται.

Το συνθεότερο **προσροφητικό μέσο** είναι ο **ενεργός άνθρακας**, προϊόν ειδικής κατεργασίας του ξύλου ή της τύρφης, με απανθράκωση στους 1100°C, ώστε να αποκτήσει πορώδη υφή. Οι πόροι είναι διαμέτρου μόλις 10^{-5} mm ή ακόμα μικρότεροι και προσδίνουν στον ενεργό άνθρακα πολύ μεγάλη ειδική επιφάνεια (800 - 1400 m²/g). Χρησιμοποιείται κυρίως για την προσρόφηση ατμών υδρογονανθράκων, δηλητηριωδών αερίων και διαλυμένων ενώσεων. Άλλα προσροφητικά μέσα της βιομηχανίας είναι το **σιλικαζέλ** και η **ενεργή αλουμίνα**. Το σιλικαζέλ είναι μία πορώδης μορφή του SiO₂, που παρασκευάζεται με καταβύθιση πυριτικών αλάτων. Έχει ειδική επιφάνεια 600 m²/g περίπου και χρησιμοποιείται συνήθως για την ξήρανση διαφόρων αερίων ή του αέρα. Η ενεργή αλουμίνα (Al₂O₃) παρασκευάζεται με πύρωση του υδροξειδίου του αργιλίου στους 600°C, έχει ειδική επιφάνεια 200 m²/g περίπου και η κυριότερη χρήση της είναι στις καταλυτικές χημικές αντιδράσεις αερίων για την προσρόφηση των αντιδρώντων σωμάτων.

Οι εγκαταστάσεις προσροφήσεως αποτελούνται συνήθως από δύο όμοια κυλινδρικά δοχεία, που περιέχουν το προσροφητικό μέσο και εργάζονται περιοδικά. Π.χ. η εγκατάσταση του σχήματος 7.5α χρησιμοποιείται για την ξήρανση αερίων, με συγκράτηση της υγρασίας του σε σιλικαζέλ. Όπως δείχνει το διάγραμμα του σχήματος 7.5β, αρχικά το υγρό αέριο διαβιβάζεται, μέσω της κάτω τετραπλής βαλβίδας, στο αριστερό δοχείο, όπου απαλλάσσεται από τους υδρατμούς. Το ξηρό πλέον αέριο εξέρχεται από το άνω μέρος του δοχείου και εγκαταλείπει την εγκατάσταση μέσω της αντίστοιχης τετραπλής βαλβίδας. Όταν κορεσθεί το σιλικαζέλ που περιέχεται στο αριστερό δοχείο και δεν είναι σε θέση να προσροφήσει άλλη ποσότητα υδρατμών, μεταβάλλεται η θέση του διακόπτη της κάτω βαλβίδας κατά 90° και το υγρό αέριο διαβιβάζεται στο δεξιό δοχείο. Ταυτόχρονα μεταβάλλεται επίσης κατά 90° η θέση του διακόπτη της άνω βαλβίδας και ο θερμός αέρας του φυσητήρα διέρχεται μέσω της μάζας του σιλικαζέλ του αριστερού δοχείου. Ο θερμός αέρας παρασύρει έξω από το δοχείο την υγρασία που είχε προσροφηθεί προηγουμένως στο σιλικαζέλ, το οποίο αποκτά έτσι πάλι την προσροφητική του ικανότητα. Δηλαδή


Σχ. 7.5α.

Προσοφητικό συγκρότημα για την ξήρανση αερίων. Αριστερά είναι ο φυσητήρας και το θερμαντικό στοιχείο για την αναγέννηση του προσοφητικού μέσου. Μεταξύ των δύο δοχείων διακρίνονται η άνω και κάτω τετραπλές βαλβίδες για την εναλλαγή της ροής των αερίων.


Σχ. 7.5β.

Διάγραμμα του συγκροτήματος του σχήματος 7.5α. Οι θέσεις των βαλβίδων δείχνουν ότι η ξήρανση του αερίου διεξάγεται στο αριστερό δοχείο, ενώ στο δεξιό γίνεται αναγέννηση του προσοφητικού μέσου.

δή το προσροφητικό μέσο **αναγεννάται**, ώστε να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την ξήρανση του υγρού αερίου, όταν κορεσθεί με τη σειρά του το σिकाζέλ του δεξιού δοχείου κ.ο.κ. Ο κάθε κύκλος κορεσμού-αναγεννήσεως του προσροφητικού μέσου διαρκεί συνήθως 6-8 ώρες περίπου.

Μία ειδική διεργασία βιομηχανικής προσροφήσεως εφαρμόζεται για τον **αποχρωματισμό** διαφόρων υγρών, όπως το ελαιόλαδο, το διάλυμα της ζάχαρης, οι χυμοί φρούτων, το κρασί και τα λιπαντέλαια. Όταν τα υγρά αυτά περιέχουν διαλυμένες ακαθαρσίες που τους προσδίνουν ανεπιθύμητο χρώμα, αναμιγνύονται με κατάλληλα προσροφητικά υλικά, τα **αποχρωστικά χρώματα**, που συγκρατούν τις ακαθαρσίες. Στη συνέχεια τα χρώματα αποχωρίζονται από το αποχρωματισμένο υγρό και αναγεννώνται.

7.6 Απορρόφηση αερίων από υγρά.

7.6.1 Γενικά.

Η απορρόφηση αερίων από υγρά μπορεί να αποτελεί ένα φυσικό ή ένα χημικό φαινόμενο. Στην πρώτη περίπτωση η απορρόφηση οφείλεται αποκλειστικά στη διάλυση των μορίων των αερίων, χωρίς να μεσολαβούν άλλες αλληλεπιδράσεις με τα μόρια των υγρών. Π.χ. η απορρόφηση του CO_2 στο νερό, με εξάσκηση πίεσεως, δεν συνοδεύεται από καμιά χημική αντίδραση. Όταν αφαιρεθεί η πίεση, τό CO_2 δεν συγκρατείται πλέον στο νερό αλλά αποβάλλεται από αυτό, όπως έχομε παρατηρήσει τόσες φορές ανοίγοντας ένα μπουκάλι μπύρας. Αντίθετα, χημικό φαινόμενο πραγματοποιείται όταν η διάλυση του αερίου συνοδεύεται από χημικές αντιδράσεις με τα συστατικά του υγρού. Ένα παράδειγμα είναι η δέσμευση του CO_2 σε διάλυμα NaOH . Η απορρόφηση του CO_2 , χωρίς μάλιστα να απαιτείται εξάσκηση πίεσεως, οφείλεται τώρα στην κατανάλωσή του σύμφωνα με την εξίσωση:



Το αντικείμενό, στο βιβλίο αυτό, είναι οι φυσικές διεργασίες και επομένως θα περιορισθούμε στην εξέταση των περιπτώσεων, όπου η απορρόφηση των αερίων είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά της διαλύσεώς τους στα υγρά.

7.6.2 Επίδραση της πίεσεως και της θερμοκρασίας.

Προηγουμένως θα πρέπει να υπενθυμίσομε ότι η διαλυτότητα των αερίων στα υγρά εξαρτάται από την **πίεση** και τη **θερμοκρασία**. Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση ενός αερίου, είτε αυτό είναι καθαρό είτε βρίσκεται σε μίγμα με άλλα αέρια, τόσο μεγαλύτερη είναι διαλυτότητά του στα υγρά. Στον πίνακα 7.6.1 βλέπομε ότι η αύξηση της μερικής πίεσεως του διοξειδίου του θείου από 3 σε 60 Torr, που σημαίνει π.χ. ότι σε αέριο μίγμα ατμοσφαιρικής πίεσεως 20πλασιάσθηκε η κατ' όγκο περιεκτικότητα σε SO_2 , έχει σαν συνέπεια το 10πλασιασμό της διαλυτότητάς του στο νερό.

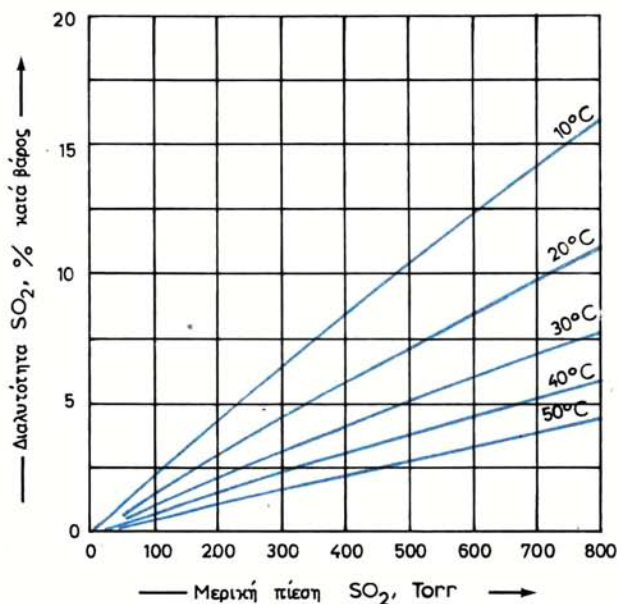
Περισσότερα στοιχεία παρουσιάζονται στο διάγραμμα του σχήματος 7.6α, με τις καμπύλες της μεταβολής της διαλυτότητας του SO_2 στο νερό, σε συνάρτηση με τη μερική του πίεση, για διάφορες θερμοκρασίες μεταξύ 10° και 50°C . Π.χ. στη με-

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6.1.

Αντιστοιχία μερικής πίεσεως και διαλυτότητας του SO₂ στο νερό θερμοκρασίας 20°C

Μερική πίεση του SO ₂ σε Torr	60	52	45	38	31	25	19	13	8	3
Διαλυτότητα, % κατά βάρος	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

ρική πίεση 500 Torr και θερμοκρασία 10°C, η διαλυτότητα του SO₂ στο νερό είναι περίπου 11% κατά βάρος, ενώ στη θερμοκρασία 50°C είναι μόλις 3%. Γενικότερα, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο χαμηλότερα βρίσκεται η αντίστοιχη καμπύλη, δηλαδή τόσο μικρότερη είναι η διαλυτότητα του αερίου.

**Σχ. 7.6α.**

Διάγραμμα της διαλυτότητας του SO₂ στο νερό σε συνάρτηση με τη μερική του πίεση, για πέντε διάφορες θερμοκρασίες.

Όστε βλέπουμε ότι οι συνθήκες της εργασίας (πίεση και θερμοκρασία) αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη φυσική διεργασία της απορροφήσεως των αερίων από τα υγρά, πράγμα που δεν είχε γίνει τόσο φανερό στις προηγούμενες φυσικές διεργασίες που έχουμε εξετάσει.

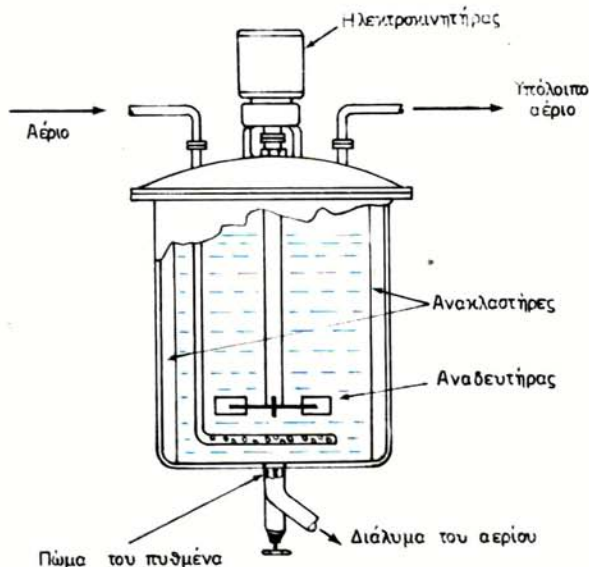
Εκτός από την ποσότητα των απορροφουμένων αερίων, μεγάλη σημασία για τη βιομηχανία έχει και το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την πραγματοποίηση της απορροφήσεως. Η μείωση του απαιτούμενου χρόνου συνεπάγεται αντίστοιχη

αύξηση της αποδόσεως των βιομηχανικών συσκευών.

Επειδή η διάλυση των μορίων των αερίων προϋποθέτει την επαφή τους με την επιφάνεια των υγρών, ταχύτερη απορρόφηση θα εξασφαλίζεται όταν γίνεται καλή ανάμιξη αερίων και υγρών, ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια επαφής μεταξύ τους. Οι κυριότερες βιομηχανικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι τα **δοχεία αναδεύσεως** και οι **πύργοι απορροφήσεως**.

7.6.3 Δοχεία αναδεύσεως.

Τα **δοχεία αναδεύσεως** που προορίζονται για την απορρόφηση αερίων είναι όμοιες κατασκευές με τα δοχεία αναδεύσεως που γνωρίσαμε στην παράγραφο 7.3.2 και χρησιμοποιούνται για την ανάμιξη υγρών. Η μόνη τους διαφορά είναι ότι περιέχουν ένα διάτρητο σωλήνα, μέσω του οποίου γίνεται η εισαγωγή του αερίου και η διασπορά του σε μορφή φυσαλίδων (σχ. 7.6β). Ο περιστρεφόμενος αναδευτήρας βοηθάει, στη συνέχεια, τη διάχυση των φυσαλίδων στη μάζα του υγρού.



Σχ. 7.6β.

Κλειστό δοχείο αναδεύσεως για την απορρόφηση αερίων από υγρά.

Σε πολλές περιπτώσεις που επιδιώκεται η απορρόφηση ατμοσφαιρικού αέρα από το υγρό, η δράση του αναδευτήρα είναι επαρκής για την πραγματοποίησή της και δεν απαιτείται άλλη διαβίβαση αέρα. Π.χ. στο σχήμα 7.6γ εικονίζεται μία δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού αποβλήτων με προορισμό όμοιο με εκείνον της αντίστοιχης εγκαταστάσεως που γνωρίσαμε στην παράγραφο 7.4. Η ορμητική ανατάραξη της επιφάνειας των αποβλήτων στη δεξαμενή από τους αναδευτήρες, προκαλεί τον έντονο αερισμό τους και την απορρόφηση του απαιτούμενου οξυγόνου για τις οξειδωτικές βιολογικές δράσεις των μικροοργανισμών.



Σχ. 7.6γ.

Δεξαμενή βιολογικού καθαρισμού υγρών αποβλήτων με επιφανειακό αερισμό από δύο αναδευτήρες. Οι ηλεκτροκινητήρες των αναδευτήρων στηρίζονται στη μεταλλική γέφυρα. Δεξιά είναι ο πίνακας έλεγχου της λειτουργίας της εγκατάστασης.

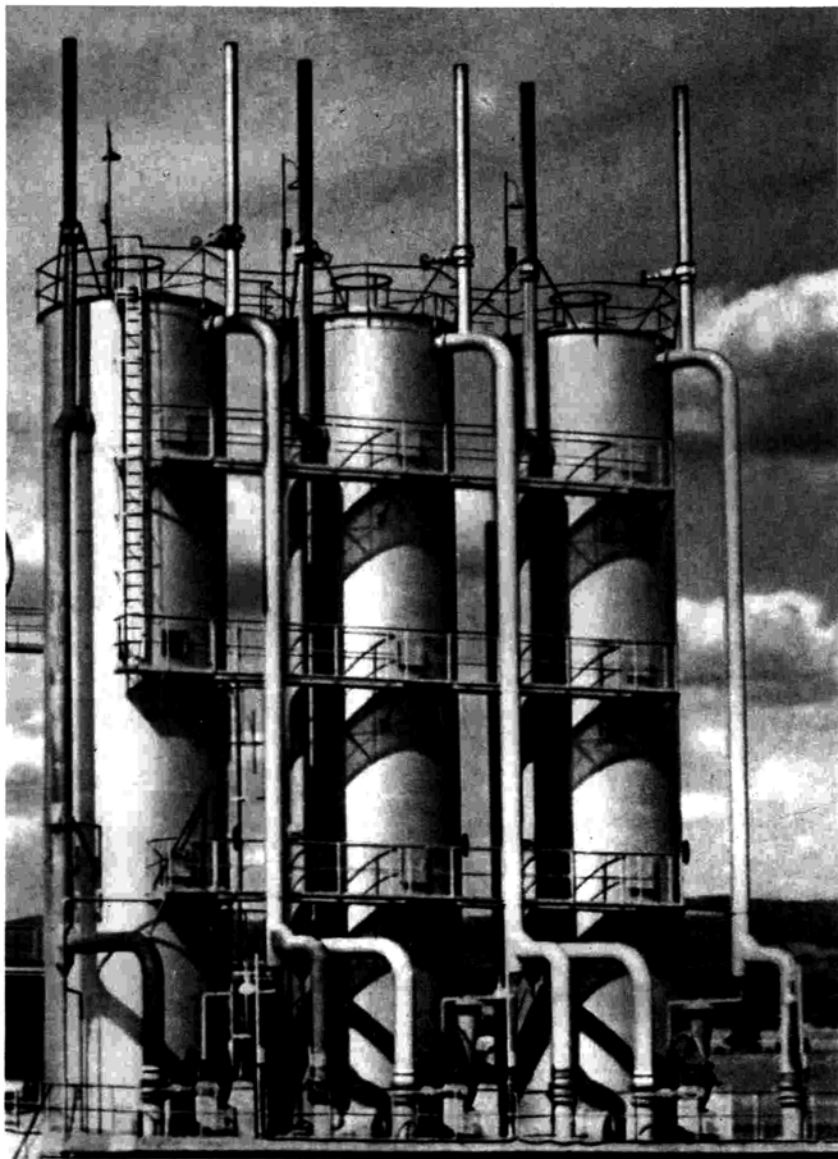
7.6.4 Πύργοι.

Μία άλλη μέθοδος για την υποβοήθηση της απορροφήσεως αερίων από υγρά στηρίζεται στη διαμόρφωση των υγρών σε λεπτά στρώματα ώστε να αποκτήσουν μεγάλη ειδική επιφάνεια. Αυτό πραγματοποιείται σε υψηλά κυλινδρικά δοχεία (**πύργους**), που περιέχουν σειρές από οριζόντιους δίσκους ή είναι γεμάτα με τεμάχια στερεών. Τα στερεά αυτά είναι συνήθως πέτρες, θραύσματα γυαλιού, τεμάχια κωκ ή κεραμικά αντικείμενα ειδικών σχημάτων και αποτελούν το **πληρωτικό υλικό** του πύργου. Το υγρό εισάγεται στην κορυφή του πύργου και καθώς κατέρχεται προς τα κάτω, περιλούει τους δίσκους ή τα τεμάχια του πληρωτικού υλικού, αυξάνει την επιφάνειά του και έρχεται σε μεγάλη επαφή με το αέριο. Ανάλογα με την εσωτερική κατασκευή τους, οι πύργοι απορροφήσεως ονομάζονται **πύργοι με δίσκους** ή **πύργοι πληρώσεως**.

Για την αποτελεσματικότερη απορρόφησή του, το αέριο εισάγεται στη βάση του πύργου και εξέρχεται από την κορυφή, ώστε ανερχόμενο να κινείται **κατ' αντιστροφή** προς το κατερχόμενο υγρό. Πληρέστερη απορρόφηση επιτυγχάνεται όταν τοποθετείται σειρά πύργων σε συστοιχία και το προϊόν του ενός τροφοδοτεί τον επόμενο (σχ. 7.6δ). Το σχήμα 7.6ε δείχνει τη διαδρομή του αερίου μίγματος και του υγρού καθώς διαρρέουν τη συστοιχία. Το πρώτο βαθμιαία γίνεται πτωχότερο και το δεύτερο εμπλουτίζεται με το απορροφούμενο αέριο.

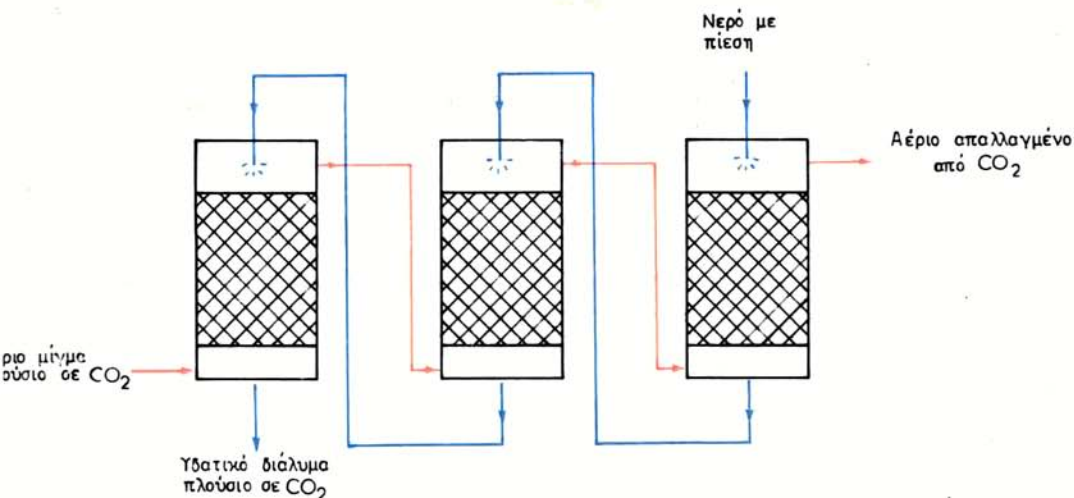
Σε μία άλλη κατηγορία πύργων απορροφήσεως, τους **πύργους καταιονισμού**, η απόκτηση μεγάλης ειδικής επιφάνειας από τα υγρά γίνεται με τρόπο ανάλογο με εκείνο που γνωρίσαμε στην ελάττωση μεγέθους των στερεών. Στην περίπτωση αυτή ο πύργος είναι κενός και το υγρό εκτοξεύεται από την κορυφή σε μορφή σταγο-

νιδίων, που συγκεντρώνονται στη βάση του. Κατά τη διαδρομή τους τα σταγονίδια βρίσκονται σε επαφή με το ανερχόμενο κατ' αντήροη αέριο και το απορροφούν.



Σχ. 7.66.

Συστοιχία τριών πύργων απορροφήσεως CO_2 από νερό, με πίεση 30 at.



Σχ. 7.6ε.

Διάγραμμα της κυκλοφορίας κατ' αντήρρηση των αερίων και των υγρών της εγκατάστασης απορροφήσεως CO_2 του σχήματος 7.6δ.

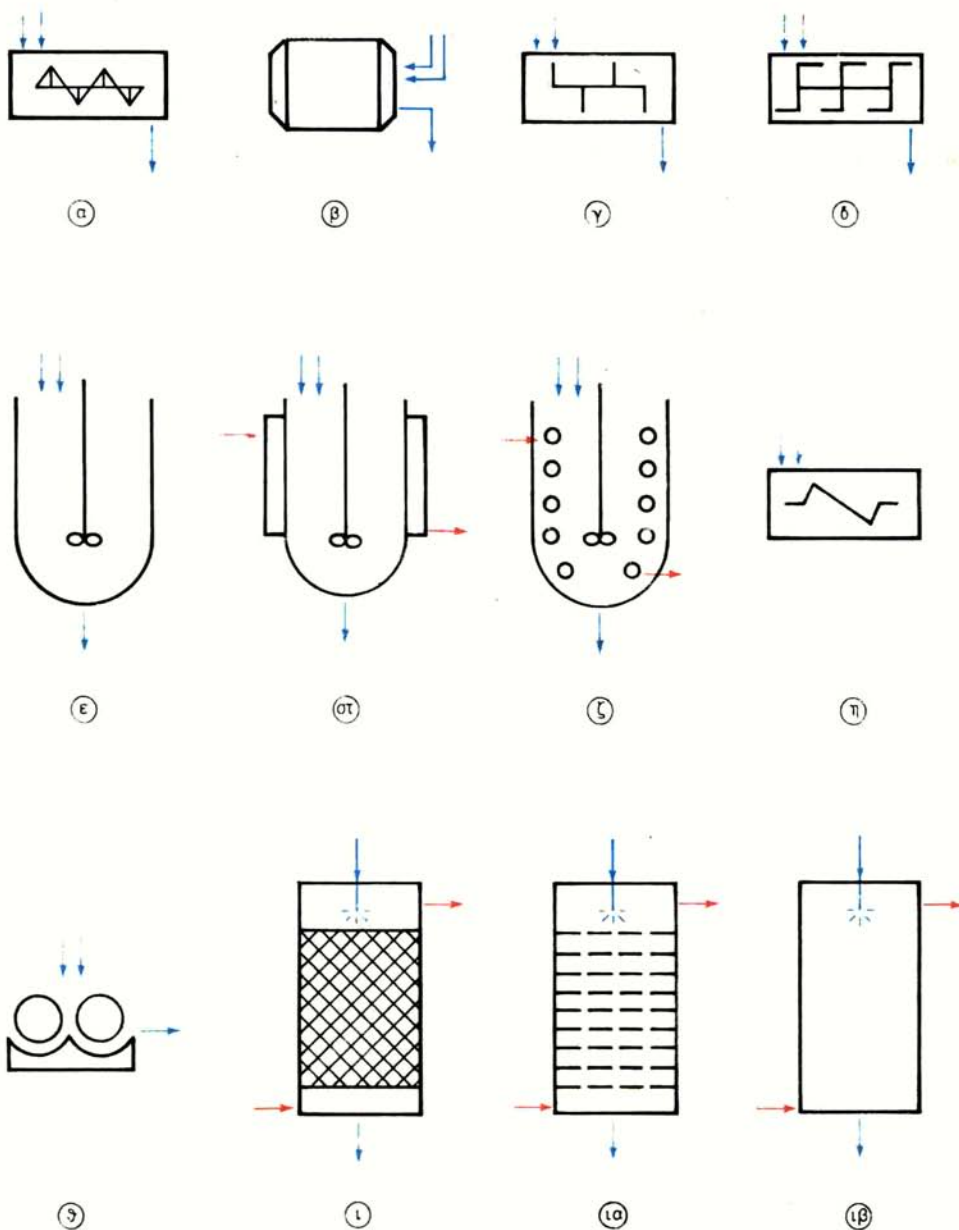
7.7 Συμβολισμοί για την ανάμιξη των υλικών.

Στο σχήμα 7.7 εικονίζονται οι συμβολισμοί για τις κυριότερες βιομηχανικές συσκευές αναμίξεως, που γνωρίσαμε στις προηγούμενες παραγράφους. Ειδικότερα, στο σχήμα περιλαμβάνονται ο αναμικτήρας με κοχλίες και τρεις παραλλαγές περιστροφικών αναμικτήρων στερεών, τρία δοχεία αναδεύσεως υγρών ή αιωρήσεως και διαλύσεως στερεών χωρίς ή με εξοπλισμό για θέρμανση και ψύξη, δύο ζυμωτήρια συνεχούς λειτουργίας και οι τρεις βασικοί τύποι των πύργων απορροφήσεως αερίων.

Παρατηρούμε ότι οι συσκευές που έχουν ανάλογη λειτουργία και κατασκευή, όπως π.χ. ο αναμικτήρας με κοχλίες, το ζυμωτήριο με ελικώσεις και ο μεταφορικός κοχλίας που γνωρίσαμε στο σχήμα 5.5α, έχουν μικρές μόνο διαφορές στο συμβολισμό τους. Διαπιστώνομε λοιπόν πάλι ότι για την αποφυγή κάθε αμφιβολίας στην ερμηνεία των κατασκευαστικών διαγραμμάτων, είναι απαραίτητο να συνοδεύονται από επεξηγηματικό υπόμνημα των συμβόλων.

Ερωτήσεις και Ασκήσεις.

1. Γιατί η ανάμιξη των σωμάτων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση των φυσικών και χημικών μεταβολών;
2. Σε τι διαφέρουν τα διαλύματα από τα ετερογενή μίγματα των σωμάτων;
3. Γιατί η ανάμιξη των αερίων είναι ευκολότερη από την ανάμιξη των υγρών; Γιατί η ανάμιξη των στερεών παρουσιάζει συνήθως τις μεγαλύτερες δυσκολίες;
4. Δώστε δύο παραδείγματα βιομηχανικών συσκευών αναμίξεως στερεών, που να είναι όμοιας κατασκευής με συσκευές μεταφοράς και ελαττώσεως μεγέθους.
5. Ποια είναι τα κυριότερα εξαρτήματα των δοχείων αναδεύσεως για την ανάμιξη και θέρμανση ή ψύξη των υγρών;



Σχ. 7.7.

Συμβολικές απεικονίσεις βιομηχανικών συσκευών αναμίξεως στερεών, υγρών και αερίων.

α) Αναμικτήρας τύπου σκάφης με κοχλίες. β) Αναμικτήρας τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου (μπετονιέρα). γ) Αναμικτήρας με πτερύγια. δ) Αναμικτήρας με ξέστρα. ε) Δοχείο αναδεύσεως. στ) Δοχείο αναδεύσεως με μανδύα θερμάνσεως ή ψύξεως. ζ) Δοχείο αναδεύσεως με εσωτερική σωλήνωση (σερπαντίνα) θερμάνσεως ή ψύξεως. η) Ζυμωτήριο με ελικώσεις. θ) Ζυμωτήριο με κυλίνδρους. ι) Πύργος πληρώσεως. ια) Πύργος με διάτρητους δίσκους. ιβ) Κενός πύργος καταιονισμού.

6. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ισχύς που καταναλώνει ο αναδευτήρας στα δοχεία αναδέυσεως για την ανάμιξη υγρών;
7. Σε ποσότητα 2 m^3 υδατικού διαλύματος προστίθεται διπλάσιος όγκος νερού και το μίγμα αναταράσσεται ισχυρά σε δοχείο αναδέυσεως. Πόση ισχύ θα καταναλώνει ο αναδευτήρας του δοχείου;
(**Απάντηση:** 1,8 έως 4,2 kW)
8. Περιγράψτε δύο μεθόδους για τη δημιουργία αιωρήματος και τον αερισμό στις δεξαμενές βιολογικού καθαρισμού των υγρών αποβλήτων.
9. Περιγράψτε ένα αναμικτήρα πολτών συνεχούς λειτουργίας και εξηγήστε τα πλεονεκτήματά του.
10. Ποια είναι η κυριότερη ιδιότητα που χαρακτηρίζει την προσροφητική ικανότητα των στερεών και σε τι μονάδες εκφράζεται;
11. Περιγράψτε ένα κύκλο κορεσμού και αναγεννήσεως μιας εγκαταστάσεως προσροφήσεως αερίων.
12. Δώστε ένα βιομηχανικό παράδειγμα προσροφήσεως διαλυμένων σωμάτων στην επιφάνεια ενός στερεού.
13. Μία ποσότητα αέρα που περιέχει ατμούς βενζίνης διοχετεύεται σε κυλινδρικό δοχείο, πλήρες με ενεργό άνθρακα, για να απαλλαγεί από αυτούς. Η πυκνότητα του ενεργού άνθρακα είναι $0,5\text{ g/cm}^3$ και η μέγιστη ικανότητα προσροφήσεως βενζίνης φθάνει το 8% του βάρους του. Λόγω στενότητας χώρου στο εργοστάσιο, υπάρχει ο περιορισμός ότι το στρώμα του ενεργού άνθρακα στο δοχείο δεν πρέπει να υπερβαίνει σε ύψος τα 80 cm. Να υπολογίσετε: α) την απαιτούμενη ποσότητα ενεργού άνθρακα για τη συγκράτηση 100 kg ατμών βενζίνης και β) τη διάμετρο του κυλινδρικού δοχείου. (**Απάντηση:** 1250 kg ενεργού άνθρακα σε δοχείο διαμέτρου 200 cm)
14. Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την ποσότητα και την ταχύτητα απορροφήσεως των αερίων από τα υγρά;
15. Περιγράψτε τη λειτουργία κατ' αντιρροή των πύργων απορροφήσεως αερίων από υγρά.
16. Τα καυσαέρια των βιομηχανιών μολύνουν το περιβάλλον, κυρίως όταν είναι υψηλής περιεκτικότητας σε SO_2 , γιατί αυτό είναι ιδιαίτερα βλαβερό για την υγεία των ανθρώπων και επίσης προκαλεί τη φθορά των μαρμάρων (παράδειγμα τα μνημεία της Ακροπόλεως), τη διάβρωση των μετάλλων κλπ. Για την προστασία του περιβάλλοντος, τα καυσαέρια ενός εργοστασίου, που μεταφέρουν 105 kg SO_2 ωριαίως, πρόκειται να πλυθούν σε πύργο απορροφήσεως με νερό θερμοκρασίας 20°C . Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι επίσης 20°C , η πίεσή τους 760 Torr και η περιεκτικότητά τους σε SO_2 είναι 5% κατ' όγκο. Υπολογίστε την απαιτούμενη ελάχιστη παροχή νερού στον πύργο απορροφήσεως, ώστε να συγκρατείται τό SO_2 των καυσαερίων. Χρησιμοποιείστε για τη λύση τα στοιχεία του πίνακα 7.6.1.
(**Απάντηση:** 15 t/h νερό)
17. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του διαγράμματος 7.6α, υπολογίστε τη λύση της παραπάνω ασκήσεως για την περίπτωση που η ποσότητα των 105 kg/h SO_2 περιέχεται σε καυσαέρια με περιεκτικότητα 30% κατ' όγκο και η θερμοκρασία των καυσαερίων και του νερού πλύσεως είναι 10°C .
(**Απάντηση:** 2,1 t/h νερό)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

8.1 Γενικά.

8.1.1 Σκοπός του διαχωρισμού.

Στα διαδοχικά στάδια της βιομηχανικής παραγωγής παρουσιάζεται πολύ συχνά η ανάγκη διαχωρισμού των υλικών σε κατηγορίες προϊόντων με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Π.χ. κατά τη μεταλλουργική παραγωγή του σιδήρου με τη μέθοδο της ψυκαμίνου, απαιτείται η εκτέλεση σειράς διαχωρισμών στην προετοιμασία των πρώτων υλών, τη διακίνηση των παραπροϊόντων και την παραλαβή του τελικού προϊόντος. Ένας πρώτος διαχωρισμός διεξάγεται στο σιδηρομετάλλευμα για την κατανομή του ανάλογα με το μέγεθος των τεμαχίων του, ώστε τα μεγάλα τεμάχια να υποβληθούν σε θρυμματισμό και να αποκτήσουν τις κατάλληλες διαστάσεις για την τροφοδότηση της ψυκαμίνου. Στα καυσαέρια που εκπέμπονται από τη μεταλλουργική εγκατάσταση γίνεται διαχωρισμός και κατακράτηση της σκόνης που παρασύρουν, για να εμποδιστεί η ρύπανση του περιβάλλοντος. Επίσης στο προϊόν της ψυκαμίνου, που συγκεντρώνεται στη βάση της σε μορφή τήγματος, απαιτείται ο διαχωρισμός του χυτοσιδήρου από τις άχρηστες σκωρίες που επιπλέουν στο τήγμα.

Σε άλλες περιπτώσεις, όπως π.χ. στη βιομηχανία παραγωγής της ζάχαρης από τεύτλα, το αποκλειστικό αντικείμενό της περιορίζεται ουσιαστικά στην πραγματοποίηση ενός διαχωρισμού. Συγκεκριμένα, η ζάχαρη, που περιέχεται ήδη εξ αρχής στην πρώτη ύλη, αποχωρίζεται από τα υπόλοιπα συστατικά των τεύτλων ώστε να ληφθεί στην καθαρή κρυσταλλική μορφή, με την οποία κυκλοφορεί στο εμπόριο. Επίσης, διαχωρισμός γίνεται συχνά για τον καθαρισμό ενός προϊόντος και την απαλλαγή του από ανεπιθύμητες προσμίξεις, όπως π.χ. τα άχρηστα χρώματα (στείρα) από τα μεταλλεύματα, τα διάφορα αιωρήματα από το πόσιμο νερό, οι ξένοι κόκκοι από το σιτάρι και τους άλλους δημητριακούς καρπούς, τα πίτουρα (περιβλήματα των κόκκων του σιταριού) από το αλεύρι που είναι στο εσωτερικό τους κλπ.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι βιομηχανικές διεργασίες διαχωρισμού των υλικών δεν προχωρούν πάντοτε μέχρι τον πλήρη αποχωρισμό των διαφόρων συστατικών των μιγμάτων και τη λήψη τους σε καθαρή μορφή. Αντίθετα, υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου απλώς επιδιώκεται **η κατανομή ενός μίγματος σε δύο ή περισσότερα προϊόντα, τα οποία να έχουν διαφορετική σύσταση** (αυτός άλλωστε είναι ο ορισμός του διαχωρισμού των υλικών, υπό τη γενικότερη έννοια). Για την παραγωγή

π.χ. πόσιμο νερό από θαλασσινό ή υφάλμυρο (γλυφό) νερό δεν απαιτείται η πλήρης απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων από το ακατάλληλο προς πόση νερό. Συνήθως εφαρμόζεται μία διεργασία μερικού διαχωρισμού των αλάτων, ώστε π.χ. από 1000 kg φυσικού υφάλμυρου νερού περιεκτικότητας 0,25% σε άλατα να ληφθούν 500 kg πόσιμο νερού περιεκτικότητας 0,05% σε άλατα και να απομείνουν τα υπόλοιπα 500 kg του νερού με υψηλότερη περιεκτικότητα αλάτων (0,45%) από όση είχαν αρχικά. Εξακολουθούμε δηλαδή να θεωρούμε την παραπάνω διεργασία σαν διαχωρισμό αν και τα προϊόντα είναι επίσης μίγματα, όπως η πρώτη ύλη. Το αρχικό όμως διάλυμα αλάτων, που αποτελεί το υφάλμυρο νερό, μετατράπηκε σε δύο υδατικά διαλύματα με διαφορετικές περιεκτικότητες σε άλατα.

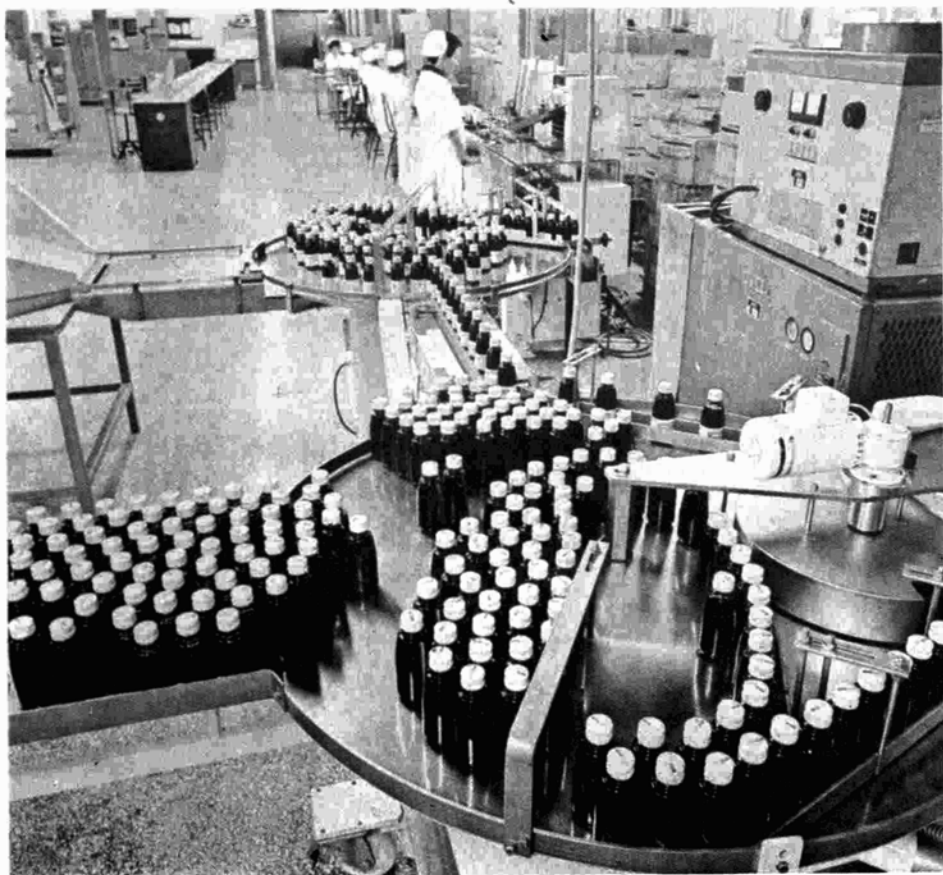
8.1.2 Μέθοδοι διαχωρισμού.

Στη βιομηχανία έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι διαχωρισμού των υλικών από μίγματά τους, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των σωμάτων και το είδος του επιδιωκόμενου διαχωρισμού. Η λειτουργία των αντιστοίχων βιομηχανικών συσκευών στηρίζεται στις διαφορές που παρουσιάζουν ορισμένες από τις ιδιότητες των συστατικών των μιγμάτων, όπως είναι το μέγεθος ή το σχήμα των τεμαχίων των στερεών, η θερμοκρασία βρασμού των υγρών, η πυκνότητα, η διαλυτότητα κλπ. Υπάρχουν όμως ειδικές περιπτώσεις, όπου ο διαχωρισμός διεξάγεται συνήθως ασφαλέστερα όταν εκτελείται με την προσωπική κρίση και επέμβαση ανθρώπων. Τέτοιες περιπτώσεις είναι η απομάκρυνση, π.χ. των αχρήστων υλικών από τα μεταλλεύματα που εξάγονται στα ορυχεία, ή των ραγισμένων φιαλών από τα συσκευασμένα φάρμακα των φαρμακοβιομηχανιών ή των σάπιων φρούτων από τα φορτία που παραλαμβάνουν τα κονσερβοποιεία. Εργασίες όπως οι παραπάνω είναι δύσκολο να εκμηχανιστούν και αυτοματοποιηθούν, γι' αυτό εφαρμόζεται συνήθως **διαλογή με το χέρι** από εργάτες, που ελέγχουν το υλικό σε τραπέζια διαλογής (σχ. 8.1) ή καθώς διέρχεται σε μεταφορικές ταινίες.

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, διαχωρισμός υλικών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μεσολάβηση **διαχωριστικών ουσιών**, όπως ο ενεργός άνθρακας για την προσρόφηση των ατμών της βενζίνης και τον αποχωρισμό τους από τον αέρα ή όπως το νερό για την απορρόφηση του CO₂ και του SO₂ και τον αποχωρισμό τους από τα καυσαέρια. Άλλες διαχωριστικές ουσίες, εκτός από τα προσροφητικά και τα απορροφητικά μέσα, είναι οι διαλύτες και οι ιονανταλλακτικές ρητίνες.

Συχνότερη είναι η πραγματοποίηση του διαχωρισμού των υλικών με την εφαρμογή μεθόδων που απαιτούν την **κατανάλωση ενέργειας** υπό διάφορες μορφές. Στις επόμενες παραγράφους θα εξετάσουμε τις διεργασίες διαχωρισμού, που χρησιμοποιούν την ενέργεια της βαρύτητας, τη μηχανική, τη μαγνητική και την ηλεκτρική ενέργεια καθώς και τους διαλύτες σαν διαχωριστική ουσία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τους διαχωρισμούς με τη μεσολάβηση προσροφητικών και απορροφητικών μέσων συναντήσαμε ήδη στο προηγούμενο κεφάλαιο, σαν περιπτώσεις σχηματισμού μιγμάτων. Ο διαχωρισμός με ιονανταλλακτικές ρητίνες αποτελεί περισσότερο ένα χημικό παρά ένα φυσικό φαινόμενο και επομένως θα συμπεριληφθεί στις χημικές διεργασίες. Επίσης οι διαχωρισμοί, στους οποίους κύριο χαρακτηριστικό είναι η κατανάλωση θερμικής ενέργειας και η διεξαγωγή θερμικών ή

μικτικών διεργασιών θα εξετασθούν χωριστά στο κεφάλαιο της θερμάνσεως και ψύξεως. Όπως η ανάμιξη, που είδαμε παραπάνω, έτσι και ο διαχωρισμός των υλικών είναι από τις σημαντικότερες διεργασίες της χημικής τεχνολογίας. Για την κατανομή της ύλης του μεγάλου αυτού κεφαλαίου του βιβλίου και τη συστηματικότερη εξέταση των κυριότερων μεθόδων διαχωρισμού, θα τους περιγράψομε σε ομάδες ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των διαχωριζομένων συστατικών, όπως έγινε και στο κεφάλαιο της αναμίξεως των υλικών. Ειδικότερα, θα εξετάσομε στη συνέχεια κατά σειρά, το διαχωρισμό στερεών από στερεά, στερεών από αέρια, και στερεών από υγρά.



Σχ. 8.1.

Διαλογή συσκευασμένων φαρμάκων μιας φαρμακοβιομηχανίας σε πρόστιο της Αθήνας, για την απομάκρυνση των ραγισμένων φιαλών.

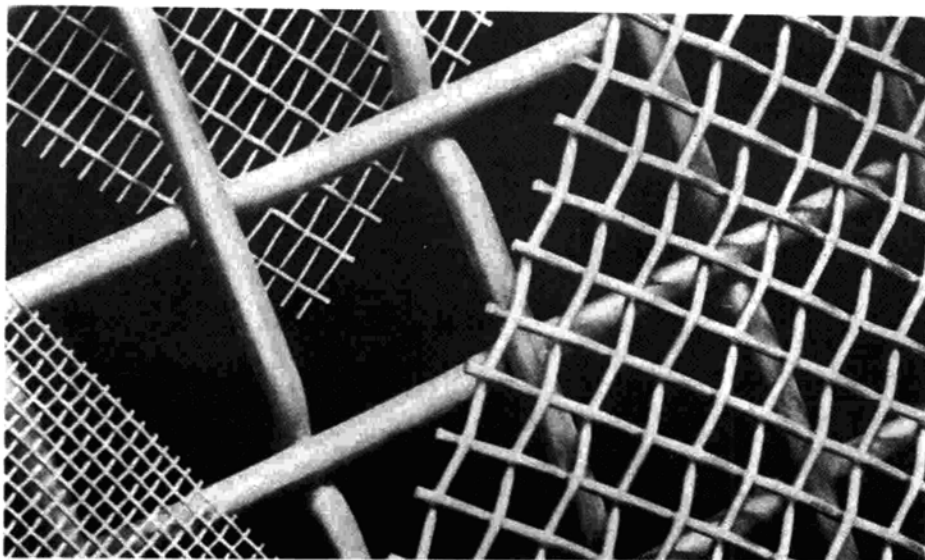
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟ ΣΤΕΡΕΑ

8.2 Το κοσκίνισμα των στερεών.

8.2.1 Τα κόσκινα.

Η απλούστερη μέθοδος διαχωρισμού ενός στερεού σώματος, που αποτελείται από τεμάχια διαφόρων μεγεθών, ώστε να ληφθούν προϊόντα με ενιαίο μέγεθος τεμαχίων, είναι το **κοσκίνισμα**. Το υλικό απορρίπτεται και διασπείρεται πάνω στο **κόσκινο**, δηλαδή μία διάτρητη επιφάνεια με ανοίγματα καθορισμένων διαστάσεων, και τα τεμάχια ή οι κόκκοι που είναι μικρότερου μεγέθους από τα ανοίγματα διέρχονται από αυτά ενώ τα μεγαλύτερα μεγέθη παραμένουν στο κόσκινο. Με τον τρόπο αυτό το υλικό χωρίζεται σε δύο μέρη: το **λεπτό προϊόν** που όπως είπαμε διέρχεται μέσα από τη διάτρητη επιφάνεια και το **χοντρό προϊόν** που συγκρατείται από αυτή.

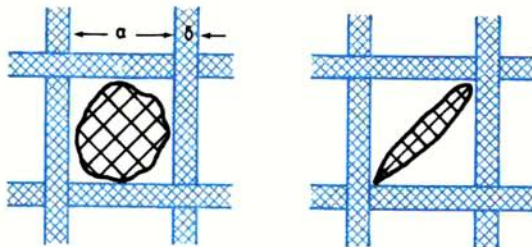
Οι διάτρητες επιφάνειες των κοσκίνων αποτελούνται είτε από πλέγματα μεταλλικών συρμάτων (σχ. 8.2α) ή ινών υφασμάτων είτε από μεταλλικά ελάσματα με κυκλικές, τετραγωνικές ή εξαγωνικές οπές είτε από παράλληλες μεταλλικές ράβδους που σχηματίζουν εσχάρα (σχ. 8.2ε). Ο όρος **άνοιγμα κόσκινου** χρησιμοποιείται ειδικότερα για την απόδοση της ελάχιστης ελεύθερης διαστάσεως της διάτρητης επιφάνειας. Π.χ. στο τετραγωνικό πλέγμα του σχήματος 8.2β, το άνοιγμα ισούται με το μήκος a της πλευράς του ελεύθερου τετραγώνου. Για να περάσουν



Σχ. 8.2α.

Μεταλλικά πλέγματα βιομηχανικών κοσκίνων σε φυσικό μέγεθος.

Το πάχος των συρμάτων του πλέγματος είναι μεγαλύτερο, όσο αυξάνει το άνοιγμα του κόσκινου, ώστε να αντέχει στο φορτίο του υλικού.



Σχ. 8.2β.

Τεμάχια διαφόρων σχημάτων, που διέρχονται από τετραγωνικό πλέγμα ανοίγματος a .

τα κυκλικού σχήματος τεμάχια του στερεού από το πλέγμα αυτό, πρέπει να έχουν πάχος μικρότερο από a . Αν όμως τα τεμάχια έχουν επίμηκες σχήμα, βλέπουμε ότι η μία τους διάσταση μπορεί να είναι μέχρι $1,4a$ περίπου, όσο δηλαδή η διαγώνιος του τετραγώνου ($\sqrt{2} \approx 1,4$). Προφανώς, η τρίτη διάσταση των τεμαχίων του στερεού, εκείνη που είναι κάθετη στο επίπεδο του σχήματος, μπορεί να έχει, θεωρητικά τουλάχιστον, οσοδήποτε μεγάλο μήκος. Στα διάτρητα ελάσματα το άνοιγμα θεωρείται ίσο με τη διάμετρο των σπών και στις εσχάρες ίσο με την απόσταση μεταξύ των ράβδων.

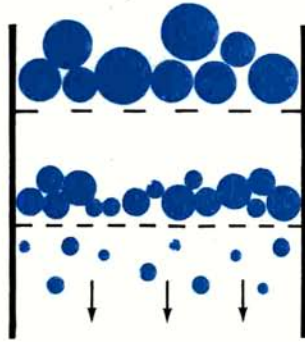
Ένας άλλος συνηθισμένος τρόπος εκφράσεως του μεγέθους των λεπτών κυρίως κοσκίνων είναι ο **αριθμός mesh**, που ισούται με το πλήθος των σπών του πλέγματος (βροχιίδες) ανά μήκος 1 ίντσας. Γνωρίζετε ότι 1 ίντσα ισούται με 25,4 mm, επομένως αν a mm είναι το άνοιγμα του κόσκινου και δ mm είναι το πάχος του σύρματος, τότε ο αριθμός mesh του κόσκινου N θα δίνεται από τη σχέση:

$$N = \frac{25,4}{a + \delta}$$

Τα λεπτότερα εργαστηριακά κόσκινα φθάνουν μέχρι 400 mesh και έχουν άνοιγμα 38 μm , στα βιομηχανικά όμως κόσκινα το άνοιγμα είναι συνήθως από 0,1 mm και άνω.

8.2.2 Κοκκομετρικά κλάσματα.

Αν ένα υλικό κοσκινισθεί σε διαδοχικά κόσκινα με ανοίγματα μεγέθους που γίνεται βαθμιαία μικρότερο, θα παραμένει σαν υπόλειμμα σε κάθε κόσκινο το μέρος εκείνο του υλικού, που αποτελείται από τεμάχια ή κόκκους ενδιάμεσου μεγέθους μεταξύ των ανοιγμάτων του κόσκινου αυτού και του αμέσως προηγούμενου (σχ. 8.2γ). Η ποσότητα αυτή του υλικού εκφράζεται σαν ποσοστό % και ονομάζεται **κοκκομετρικό κλάσμα**. Κάθε κοκκομετρικό κλάσμα χαρακτηρίζεται από τα ανοίγματα των δύο κοσκίνων μεταξύ των οποίων απομονώθηκε από το υπόλοιπο υλικό. Συνήθως χρησιμοποιείται το σύμβολο $-$ (πλην) για το άνοιγμα του τελευταίου κόσκινου από το οποίο πέρασε το κλάσμα και το σύμβολο $+$ (συν) για το άνοιγμα του



Σχ. 8.2γ.

Σχηματισμός κοκκομετρικού κλάσματος, μεταξύ δύο διαδοχικών κοσκίνων ανοιγμάτων 4 και 2 mm.

κόσκινου στο οποίο παρέμεινε σαν υπόλειμμα. Π.χ. η ποσότητα του υλικού που πέρασε από το κόσκινο ανοίγματος 4 mm του σχήματος 8.2γ και συγκρατήθηκε στο κόσκινο ανοίγματος 2 mm, αποτελεί το κλάσμα $-4+2$ mm ή, κατ' άλλο συμβολισμό, το κλάσμα $4/2$ mm.

Το κλάσμα που συγκρατείται στο πρώτο από μία σειρά διαδοχικών κοσκίνων, συμβολίζεται αναγκαστικά με το άνοιγμα μόνο του κοσκίνου αυτού. Π.χ. στο σχήμα 8.2γ η ποσότητα του υλικού που παρέμεινε σαν υπόλειμμα στο κόσκινο ανοίγματος 4 mm αποτελεί το κλάσμα $+4$ mm.

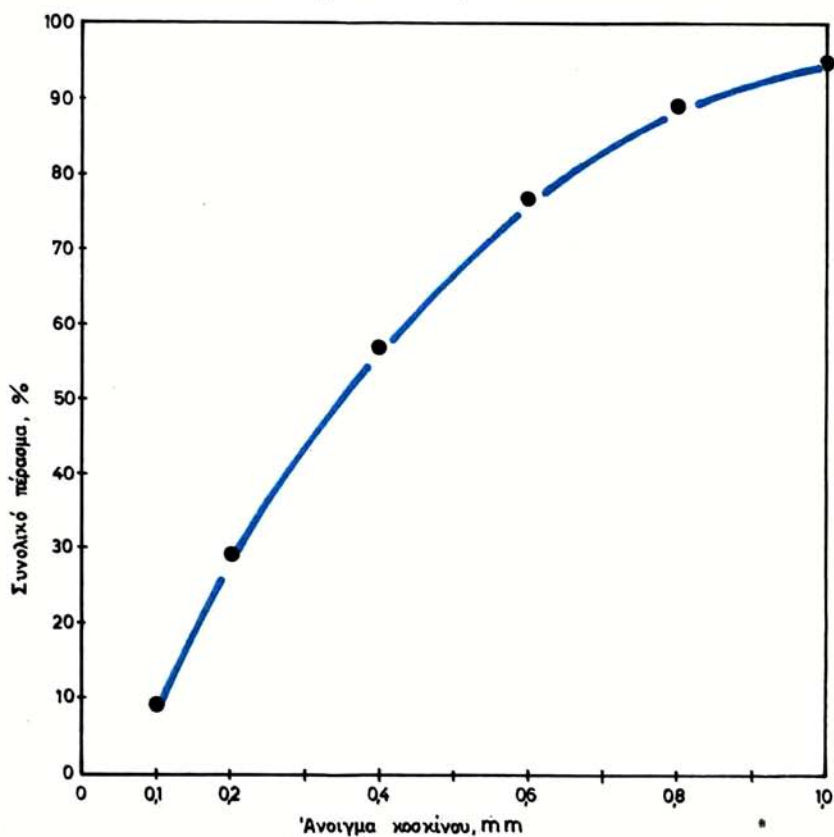
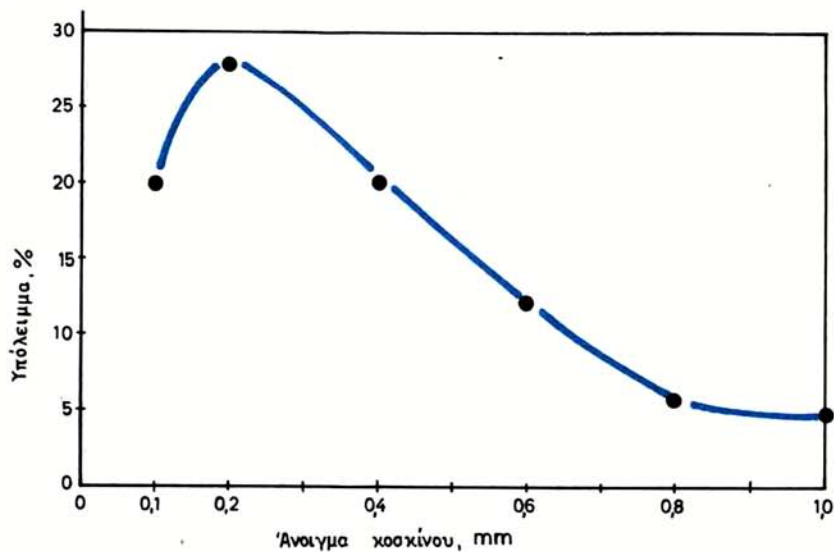
Η εξέταση της συστάσεως ενός στερεού υλικού, ανάλογα με το μέγεθος των τεμαχίων ή των κόκκων του, ονομάζεται **κοκκομετρική ανάλυση**, όπως χημική ανάλυση ονομάζεται η εξέταση της συστάσεως ενός υλικού ανάλογα με τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται. Στον πίνακα 8.2.1 δίνεται το αποτέλεσμα της κοκκομετρικής αναλύσεως μιας ποσότητας 140 kg λιγνίτη, που έγινε με κόσκινα ανοίγματος από 1,0 μέχρι 0,1 mm.

Η κοκκομετρική σύσταση των υλικών μπορεί επίσης να δοθεί σε γραφική παράσταση, όπως τα διαγράμματα του σχήματος 8.2δ, όπου έχουν μεταφερθεί οι τι-

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.1.

Κοκκομετρική ανάλυση σε 140 kg σκόνης λιγνίτη

Άνοιγμα κόσκινου	Υπολείμματα επάνω σε κάθε κόσκινο		Συνολικό πέρασμα από κάθε κόσκινο	
1,0 mm	7 kg	5,0%	133 kg	95,0%
0,8 mm	8 kg	5,7%	125 kg	89,3%
0,6 mm [¶]	17 kg	12,1%	108 kg	77,1%
0,4 mm	28 kg	20,0%	80 kg	57,1%
0,2 mm	39 kg	27,9%	41 kg	29,3%
0,1 mm	28 kg	20,0%	13 kg	9,3%



Σχ. 8.26.

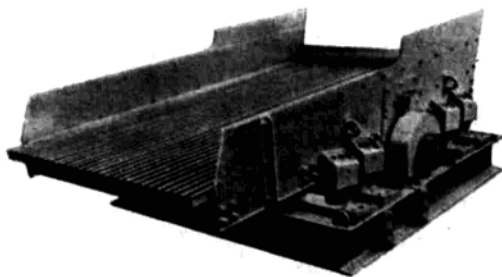
Κοκκομετρικές καμπύλες του υλικού με την ανάλυση του Πίνακα 8.2.1.

μές τις κοκκομετρικής αναλύσεως του πίνακα 8.2.1. Η μορφή των καμπυλών αποκαλύπτει αμέσως αν το υλικό είναι ομοιογενές ή όχι. Π.χ. η καμπύλη των υπολειμμάτων στο σχήμα 8.2δ δείχνει ότι στη σύσταση του υλικού συμμετέχουν σε μεγάλη αναλογία κόκκοι διαφόρων μεγεθών και κυρίως από 0,1 έως 0,6 mm περίπου. Επομένως το υλικό δεν παρουσιάζει ομοιογένεια.

Θεωρητικά θα περιμέναμε να επιτυγχάνεται με το κοσκίνισμα πλήρης διαχωρισμός των στερεών υλικών σε κλάσματα τεμαχίων ενιαίου μεγέθους. Αυτό όμως δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί στις πρακτικές συνθήκες. Μαζί με το χοντρό υπόλειμμα παραμένει και ένα μέρος λεπτότερου υλικού, που κανονικά θα έπρεπε να περάσει στο επόμενο κόσκινο, αλλά είτε δεν δόθηκε η χρονική ευκαιρία σε όλους τους κόκκους να πλησιάσουν τις οπές της διάτρητης επιφάνειας είτε πολλές από αυτές είχαν φράξει κατά τη διάρκεια του κοσκινίσματος από το σφήνωμα άλλων κόκκων. Επίσης, μαζί με το λεπτό προϊόν περνά από το κόσκινο και μια ποσότητα χοντρότερου υλικού, λόγω της βαθμιαίας φθοράς του πλέγματος από τη χρήση. Άλλωστε, αν μετρήσετε προσεκτικά τις διαστάσεις των ανοιγμάτων στα βιομηχανικά πλέγματα του σχήματος 8.2α, θα διαπιστώσετε ότι ακόμα και στα εντελώς καινούργια κόσκινα παρουσιάζονται αξιόλογες διακυμάνσεις, που οφείλονται σε αναπόφευκτα ελαττώματα της κατασκευής τους.

8.2.3 Παλινδρομικά κόσκινα.

Όταν το μέγεθος των τεμαχίων του στερεού, που πρόκειται να συγκρατηθούν, είναι σχετικά μεγάλο (άνω των 5 cm), χρησιμοποιούνται συνήθως μεταλλικές εσχάρες (σχ. 8.2ε). Κατά προτίμηση, οι ράβδοι των εσχάρων τοποθετούνται υπό



Σχ. 8.2ε.

Παλινδρομική εσχάρα διαστάσεων 1600 × 3000 mm, για το κοσκίνισμα ορυκτών σε μεγάλα τεμάχια, με απόδοση 150 t/h περίπου.

κλίση 15° έως 40° περίπου, ώστε το υλικό να κυλά επάνω τους με τη δύναμη της βαρύτητας και την ώθηση του υπόλοιπου υλικού, που ακολουθεί πίσω του (σχ. 8.2στ). Στην περίπτωση που το υλικό προσκολλάται επάνω στις ράβδους και μετατοπίζεται δύσκολα κατά μήκος της εσχάρας, η προώθησή του υποβοηθείται με μηχανικές παλινδρομικές κινήσεις των ράβδων.

Με παράλληλη επίσης παλινδρομική ή κάθετη δονητική κίνηση (όπως στους δονούμενους μεταφορείς που γνωρίσαμε στο κεφάλαιο 5) λειτουργούν και τα βιομη-



Σχ. 8.2στ.

Η εσχάρα του σχήματος 8.2ε σε κατάσταση λειτουργίας σε ένα εργοστάσιο. Παρατηρείστε τις σκληρές συνθήκες εργασίας που αντιμετωπίζουν συχνά τα μηχανήματα στη βιομηχανία. Οι ράβδοι των εσχάρων κατασκευάζονται συνήθως από μαγγανιούχο χάλυβα για να αντέχουν στη φθορά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.2.

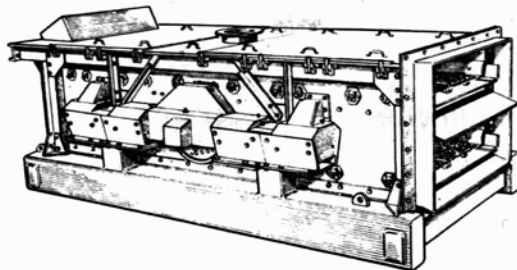
Παροχή, κατά προσέγγιση, δονουμένων κοσκίνων

Άνοιγμα κοσκίνου	Ελαφρά υλικά	Υλικά μέσης πυκνότητας	Βαριά υλικά
1 mm	0,9 t/m ² h	2,0 t/m ² h	2,4 t/m ² h
2 mm	2,3 t/m ² h	5,0 t/m ² h	6,0 t/m ² h
5 mm	5,0 t/m ² h	8,5 t/m ² h	10,0 t/m ² h
10 mm	6,5 t/m ² h	13,0 t/m ² h	15,0 t/m ² h
20 mm	9,0 t/m ² h	17,5 t/m ² h	24,0 t/m ² h
40 mm	15,5 t/m ² h	27,0 t/m ² h	31,0 t/m ² h

χανικά κόσκινα με πλέγματα. Στον πίνακα 8.2.2 δίνεται η ωριαία παροχή δονουμένων κοσκίνων, σε τόνους ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας του πλέγματος, ανάλογα με το άνοιγμά του και την πυκνότητα του υλικού. Σαν ελαφρά υλικά θεωρούνται εκείνα που έχουν φαινόμενη πυκνότητα μέχρι περίπου 0,5 g/cm³, όπως ο φελλός και το κωκ. Μέση πυκνότητα, περί το 1,0 g/cm³, έχουν υλικά όπως το κάρβουνο και το αλάτι. Στα βαριά υλικά, όπως οι πέτρες και τα περισσότερα ορυκτά, η πυκνότητα είναι από 1,5 g/cm³ περίπου και άνω.

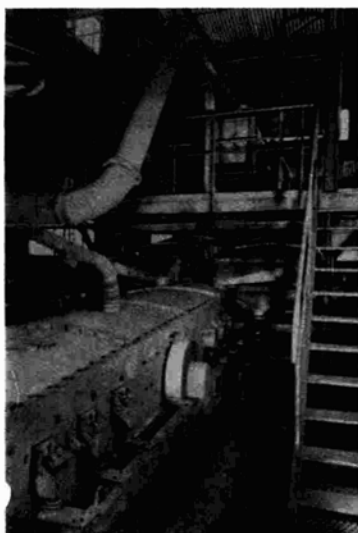
Τα παλινδρομικά και τα δονούμενα κόσκινα αποτελούνται συνήθως από 2 ή 3 επάλληλα πλέγματα διαφόρου ανοίγματος και η παραλαβή των κλασμάτων γίνεται χωριστά, από στόμια που βρίσκονται στο πλευρό τους (σχ. 8.2 ζ). Όταν κατά το κοσκίνισμα εκπέμπεται σκόνη από το υλικό, πρέπει το κόσκινο να καλύπτεται στεγανά και να απομακρύνεται η παραγόμενη σκόνη με αερομεταφορά, ώστε να προστατεύεται η υγεία των εργαζομένων και να μη γίνεται απώλεια υλικού (σχ. 8.2η).

Για το διαχωρισμό ενός υλικού σε n κλάσματα απαιτείται η εκτέλεση $n - 1$ κοσκινισμάτων. Στο σχήμα 8.2θ βλέπουμε μια εγκατάσταση διαχωρισμού ενός στε-



Σχ. 8.2ζ.

Δονούμενο διπλό κόσκινο κλειστής κατασκευής, για τη συγκράτηση της εκπεμπόμενης σκόνης.



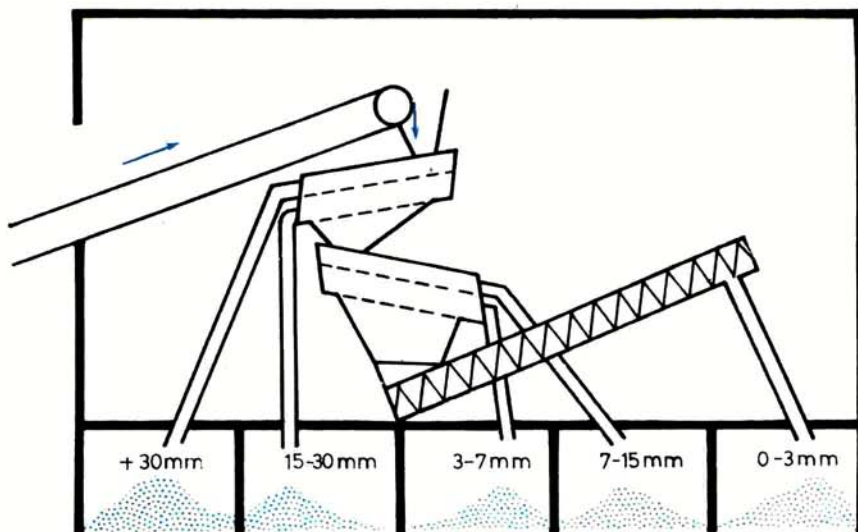
Σχ. 8.2η.

Δονούμενο κόσκινο, όπως του σχήματος 8.2ζ, σε κατάσταση λειτουργίας. Διακρίνεται στο κάλυμμα η σύνδεση της σωληνώσεως απαγωγής του αέρα, που απομακρύνει τη σκόνη.

ρεού υλικού σε 5 κοκκομετρικά κλάσματα μεγέθους +30 mm, 30/15 mm, 15/7 mm, 7/3 mm και 3/0 mm και κατανομής τους σε χωριστά σιλό. Απαιτούνται $n - 1 = 5 - 1 = 4$ κοσκινίσματα, που διεξάγονται σε δύο διαδοχικά διπλά κόσκινα. Στο πρώτο κόσκινο τα πλέγματα είναι ανοίγματος 30 και 15 mm και στο δεύτερο είναι 7 και 3 mm. Το τελικό λεπτό προϊόν μεταφέρεται στο σιλό αποθηκευσεώς του με ένα κοχλία, τα άλλα κλάσματα διανέμονται στα σιλό τους με λούκια ελεύθερης ροής.

8.3 Ανεμοδιαχωρισμός.

Όταν το υλικό περιέχει και κόκκους πολύ μικρού μεγέθους, κάτω των 0,4 mm, ο αποχωρισμός και η ταξινόμησή τους είναι πολύ δύσκολο να γίνει σε κόσκινα. Οι κόκκοι του μεγέθους αυτού είναι πολύ ελαφροί και δεν παρουσιάζουν τάση να περάσουν μέσα από το πλέγμα του κόσκινου. Επίσης το κόστος κατασκευής πολύ λεπτών πλεγμάτων είναι υψηλό και το κοσκινίσμα γίνεται οικονομικά ασύμφορο. Στις περιπτώσεις αυτές οι μικροί κόκκοι απομακρύνονται από το υπόλοιπο υλικό με εμφύσηση ρεύματος αέρος και ταξινομούνται κατά μέγεθος σε **ανεμοδιαχωριστές** (σχ. 8.3α).



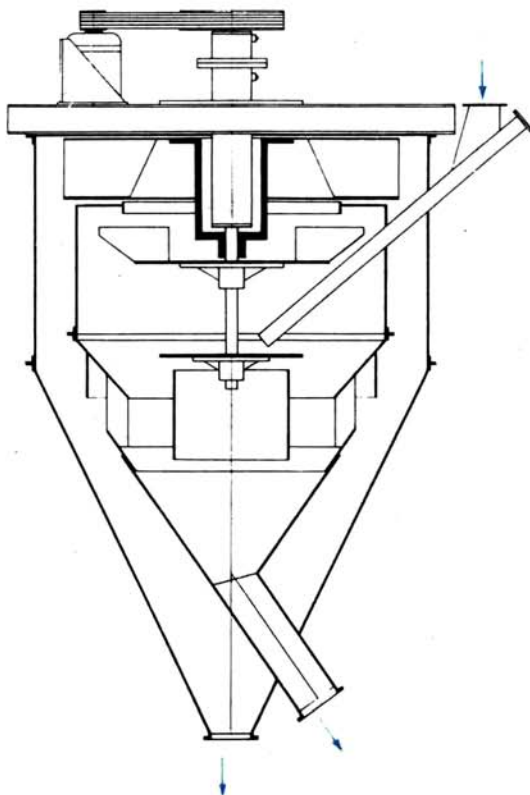
Σχ. 8.2θ.

Διάταξη βιομηχανικής εγκαταστάσεως για το διαχωρισμό ενός στερεού υλικού σε 5 κοκκομετρικά κλάσματα, με διαδοχικά κοσκινίσματα.

Επάνω στον ανεμοδιαχωριστή βρίσκεται ένας κατακόρυφος ηλεκτροκινητήρας που περιστρέφει ένα κεντρικό άξονα, στον οποίο είναι προσαρμοσμένη μία περυγιοφόρα πτερωτή, όπως των φυσητήρων (σχ. 8.3β). Στο χαμηλότερο μέρος του ίδιου άξονα, στο κέντρο του ανεμοδιαχωριστή, είναι προσαρμοσμένος ένας οριζόντιος δίσκος. Ο αέρας που φέρνει μαζί του τους μικρούς κόκκους του υλικού εισέρχεται στο λούκι (επάνω δεξιά στο σχήμα 8.3β) και καταλήγει στον περιστρεφόμενο δίσκο στο κέντρο του ανεμοδιαχωριστή. Λόγω της περιστροφής οι κόκκοι διασπείρονται, παρασύρονται από τα ανοδικά ρεύματα αέρα που δημιουργεί η πτερωτή και οι λεπτότεροι περνούν στον εξωτερικό κώνο του διαχωριστή. Οι χοντρότεροι κόκκοι παραμένουν στον εσωτερικό κώνο, λόγω του μεγαλύτερου βάρους τους, προσκρούουν σε κατακόρυφες επιφάνειες που είναι τοποθετημένες στα τοιχώματα, χάνουν την ορμή τους και πέφτουν προς τον πυθμένα. Η παραλαβή των λεπτών και των χοντρών κόκκων του υλικού γίνεται από τα αντίστοιχα στόμια των πυθμένων του εξωτερικού και του εσωτερικού κώνου.

Ανεμοδιαχωριστές τοποθετούνται συνήθως δίπλα σε μύλους αλέσεως λεπτών υλικών, για την ταξινόμηση του μεγέθους του προϊόντος τους και την επιστροφή των χοντρότερων κόκκων στο μύλο για να ξαναλεσθούν. Χρησιμοποιούνται κυρίως στις βιομηχανίες παραγωγήςτσιμέντου, γύψου, καολίνη και άλλων προϊόντων σε σκόνη.

Στο σχήμα 8.3γ βλέπομε μια μικρή πειραματική εγκατάσταση για την εκτέλεση δοκιμών αλέσεως. Στο κέντρο είναι ένας περιστρεφόμενος σφαιρόμυλος και επάνω αριστερά στο ικρίωμα είναι στερεωμένος ο ανεμοδιαχωριστής του προϊόντος του. Η σωλήνωση εξαγωγής από τον εσωτερικό κώνο, που όπως αναφέρθηκε πα-



Σχ. 8.3α.

Ανεμοδιαχωριστής με περυγιοφόρα πτερωτή και περιστρεφόμενο οριζόντιο δίσκο.

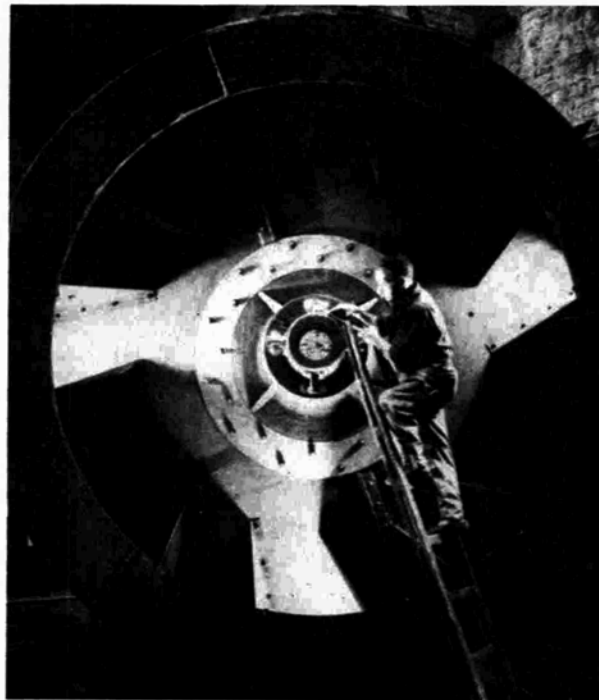
ραπάνω μεταφέρει τους χοντρότερους κόκκους, καταλήγει βεβαίως στη χοάνη τροφοδοσίας του μύλου.

8.4 Ηλεκτροστατικός και μαγνητικός διαχωρισμός.

8.4.1 Ηλεκτροστατικοί διαχωριστές.

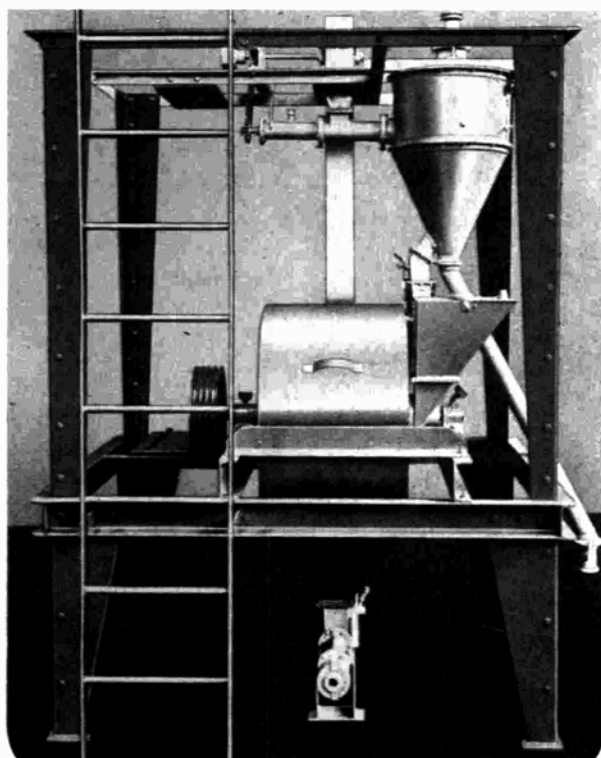
Μία σχετικά νέα μέθοδος διαχωρισμού στερεών στηρίζεται στις διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες των συστατικών ενός μίγματος υλικών. Δηλαδή, ο διαχωρισμός των συστατικών γίνεται ανάλογα με την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα.

Οι κόκκοι του υλικού ρίχνονται στο χώρο ενός ηλεκτρικού πεδίου, όπου έχουν ήδη δημιουργηθεί ελεύθερα ηλεκτρόνια από τον ιονισμό των ατόμων και μορίων του αέρα. Κατά την πώση τους, οι κόκκοι συναντούν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, φορτίζονται από αυτά και παρασύρονται προς την άνοδο του πεδίου, που την αποτελεί ένα περιστρεφόμενο γειωμένο τύμπανο (σχ. 8.4α). Όσοι από τους κόκκους



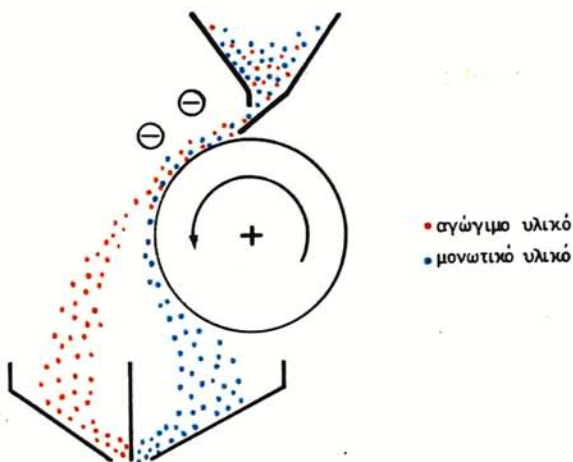
Σχ. 8.3β.

Όψη εκ των άνω του ανεμοδιαχωριστή του σχήματος 8.3α κατά το στάδιο της συναρμολογήσεως. Στο κέντρο διακρίνεται η περυγιοφόρα πτερωτή και στα εσωτερικά τοιχώματα οι επιφάνειες προσκρούσεως των χοντρότερων κόκκων.

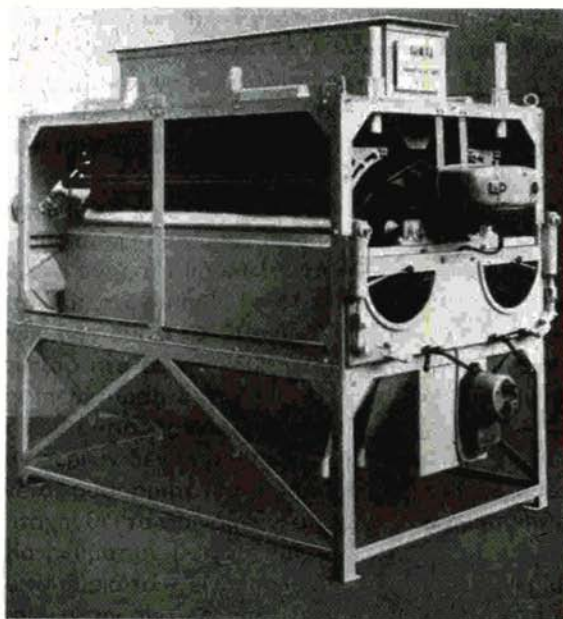


Σχ. 8.3γ.

Πειραματική διάταξη αλέσεως με σφαιρόμυλο και ανεμοδιαχωριστή.


Σχ. 8.4α.

Ηλεκτροστατικός διαχωρισμός αγωγίμων και μονωτικών υλικών.


Σχ. 8.4β.

Ηλεκτροστατικός διαχωριστής για την απομάκρυνση των μονωτικών κόκκων χαλαζία από μετάλλευμα αιματίτη. Επάνω από το τύμπανο διακρίνονται οι δύο κάθοδοι μορφής ράβδων.

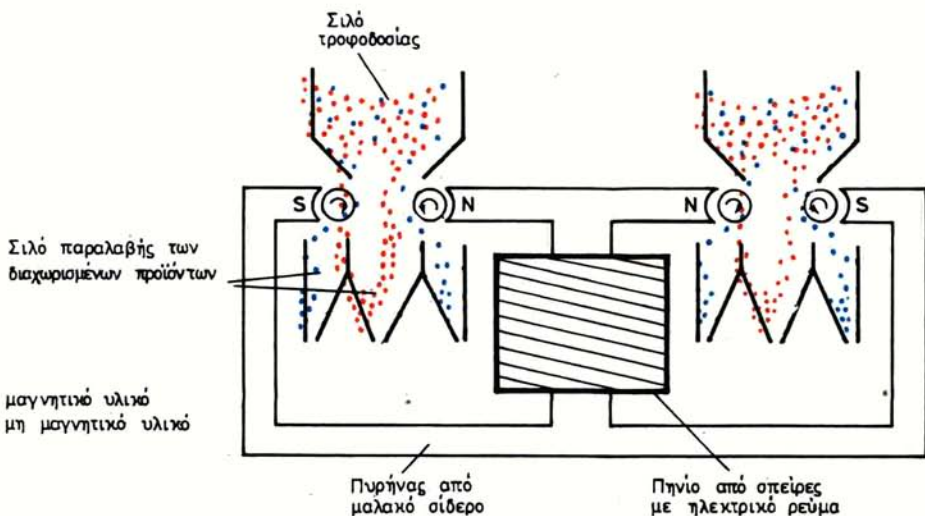
αποτελούνται από αγωγίμο υλικό, μόλις ακουμπήσουν στην επιφάνεια του τυμπάνου αποφορτίζονται αμέσως και εκτινάσσονται σε απόσταση με την ορμή που τους

δίνει η περιστροφική του κίνηση. Αντιθέτως, οι κόκκοι των λιγότερο αγωγίμων ή των μονωτικών υλικών διατηρούν το αρνητικό τους φορτίο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και παραμένουν προσκολλημένοι στο τύμπανο, μέχρι να τους αποπάσει η δύναμη της βαρύτητας.

Στη φωτογραφία του σχήματος 8.4β βλέπουμε ένα διπλό **ηλεκτροστατικό διαχωριστή**, που αποτελείται από δύο παράλληλα τύμπανα μήκους 1,5 m και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία μεταλλευμάτων. Η απόδοση των ηλεκτροστατικών διαχωριστών είναι γενικά μικρή (0,6 έως 3 t/h ανά μέτρο μήκους τυμπάνου). Επίσης παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι το υλικό πρέπει να έχει μεγέθη κόκκων καθορισμένης περιοχής (0,05 έως 3 mm).

8.4.2 Μαγνητικοί διαχωριστές.

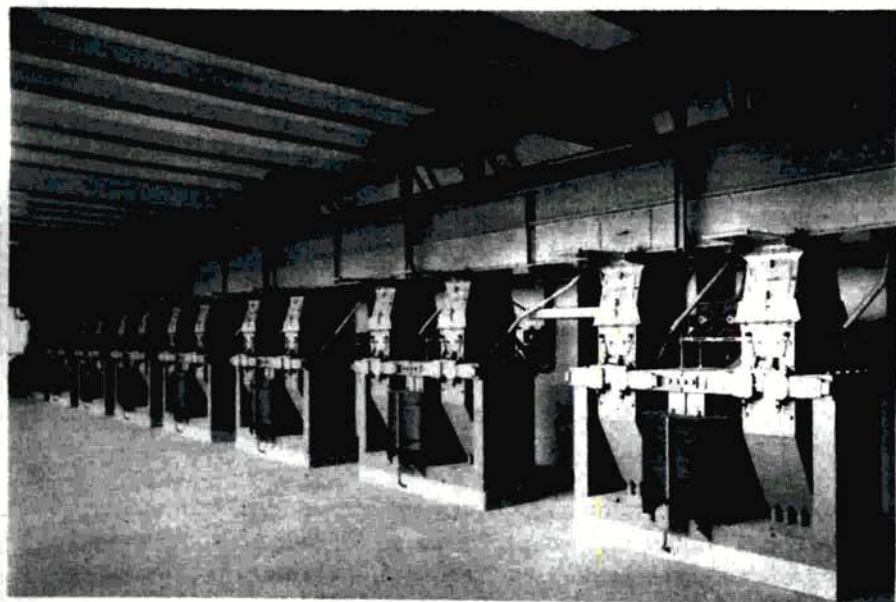
Κατά τρόπο ανάλογο, αν τα συστατικά ενός μίγματος παρουσιάζουν διαφορές στις μαγνητικές και όχι στις ηλεκτρικές τους ιδιότητες, διαχωρίζονται με τη βοήθεια ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου, που εφαρμόζεται σε όμοιες βιομηχανικές συσκευές. Στο σχήμα 8.4γ δείχνεται η λειτουργία ενός **μαγνητικού διαχωριστή**, που αποτελείται από ένα ηλεκτρομαγνήτη με πυρήνα σε σχήμα οριζόντιου Θ και με περιστρεφόμενους κυλίνδρους στα μαγνητικά ζυγώματα. Το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τις σπείρες του πηνίου του ηλεκτρομαγνήτη, δημιουργεί ισχυρό μαγνητικό πεδίο, εντάσεως 20.000 Gauss περίπου. Το υλικό ρίχνεται μεταξύ των κυλίνδρων και όποια από τα συστατικά του είναι μαγνητικά μαγνητίζονται εξ επαγωγής και εκτρέπονται προς τους πόλους του μαγνήτη. Τα μη μαγνητικά συστατικά του υλικού μένουν ανεπηρέαστα από το μαγνητικό πεδίο, πέφτουν κατακόρυφα και συγκεντρώνονται σε χωριστά σιλό.



Σχ. 8.4γ.

Μαγνητικός διαχωριστής με ηλεκτρομαγνήτη και διπλό μαγνητικό ζυγώμα.

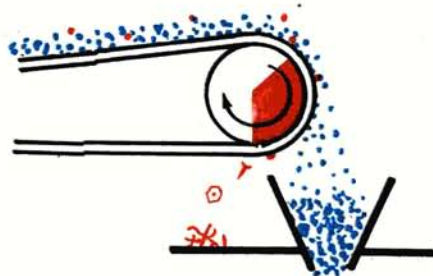
Μαγνητικοί διαχωριστές χρησιμοποιούνται συχνά για τον εμπλουτισμό των σιδηρομεταλλευμάτων, επειδή οι ενώσεις του σιδήρου που περιέχουν είναι μαγνητικές, ενώ οι άχρηστες προσμίξεις των μεταλλευμάτων είναι συνήθως μη μαγνητικές (σχ. 8.4δ). Το μέταλλευμα μπορεί να είναι σε κόκκους διαφόρων μεγεθών, από 0,1 mm μέχρι 3 cm περίπου. Δηλαδή ως προς το σημείο αυτό οι μαγνητικοί διαχωριστές πλεονεκτούν σε σύγκριση με τους ηλεκτροστατικούς διαχωριστές.



Σχ. 8.4δ.

Σειρά μαγνητικών διαχωριστών, του τύπου που δείχνει το σχήμα 8.4γ, σε βιομηχανική εγκατάσταση εμπλουτισμού σιδηρομεταλλεύματος.

Μια άλλη συχνή χρήση των μαγνητικών διαχωριστών είναι η μαγνήτση και απομάκρυνση, από τα βιομηχανικά προϊόντα, των διαφόρων σιδερένιων αντικειμένων που έχουν αναμιχθεί μαζί τους από απροσεξία ή από ατύχημα (σπασμένα ε-



- Μαγνητικό υλικό
- Μη μαγνητικό υλικό

Σχ. 8.4ε.

Αποχωρισμός σιδερένιων αντικειμένων σε μεταφορική ταινία με μαγνητικό τύμπανο.

ξαρτήματα, καρφιά, σύρματα, ξεχασμένα εργαλεία κλπ). Το υλικό αποχύνεται από μια μεταφορική ταινία, το ακραίο τύμπανο της οποίας είναι μαγνήτης κατά ένα τόμμά του. Τα σιδερένια αντικείμενα μαγνητίζονται, μένουν προσκολλημένα στην ταινία, σε όσο μήκος της εφάπτεται στο μαγνητικό τομέα του τυμπάνου, και αμέσως ύστερα πέφτουν σε χωριστό σωρό με τη δύναμη της βαρύτητας (σχ. 8.4ε). Με την απομάκρυνση των σιδερένιων αντικειμένων αποφεύγονται οι βλάβες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν παρακάτω στα μηχανήματα μεταφοράς ή ελαττώσεως μεγέθους (μεταφορικοί κοχλίες, θραυστήρες, μύλοι κλπ.)

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟ ΑΕΡΙΑ

8.5 Η κατακράτηση του κονιορτού.

8.5.1 Κονιορτός και κονιοπαγίδες.

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι κατά τη μεταφορά, την άλεση και το κοσκίνισμα των στερεών υλικών δημιουργείται συχνά εκπομπή σκόνης, που προκαλεί κινδύνους για την υγεία των εργαζομένων και απώλεια υλικού. Όπως είδαμε, η αντιμετώπιση του προβλήματος επιχειρείται με την κατασκευή των βιομηχανικών διατάξεων σε στεγανή μορφή και την επινόηση ειδικών συσκευών για την κατακράτηση της σκόνης.

Ανάλογα προβλήματα δημιουργούνται επίσης σε όσες περιπτώσεις ρεύματα αέρα ή αερίων παρασύρουν στερεό υλικό σε λεπτούς κόκκους και σχηματίζουν αιώρημα, τον **κονιορτό**. Παραδείγματα είναι τα αιωρήματα της τέφρας και της αιθάλης στα καυσαέρια, των σκωριών και της σκόνης του μεταλλεύματος στα αέρια της χαλυβουργίας, των λεπτών κόκκων των ξηρών υλικών στο θερμό αέρα των ξηρατηρίων κλπ.

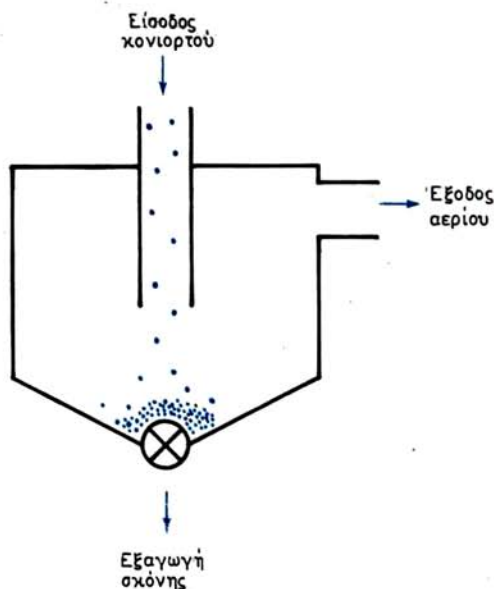
Εκτός από τους λόγους υγιεινής και απώλειας υλικού, που αναφέρθηκαν παραπάνω, η παρουσία κονιορτού στα εργοστάσια είναι ανεπιθύμητη γιατί δημιουργεί και άλλους σοβαρούς κινδύνους. Π.χ. τα στερεά σωματίδια, που παρασύρουν τα ρεύματα του αέρα και γενικότερα των αερίων, προσκρούουν σαν βλήματα στις μεταλλικές επιφάνειες των σωληνώσεων και των μηχανημάτων και προκαλούν σημαντικές φθορές. Επίσης, ο κονιορτός από αιώρημα σκόνης κάρβουνου ή οργανικών ουσιών στον αέρα, μπορεί να αποτελέσει εκρηκτικό μίγμα.

Απαλλαγή από τους ανεπιθύμητους κονιορτούς που παράγονται σε ένα εργοστάσιο, μπορεί να γίνει με τη διοχέτευσή τους στην ατμόσφαιρα από μια καπνοδόχο. Είναι ασφαλώς η ευκολότερη λύση του προβλήματος αλλά σπάνια θεωρείται αποδεκτή γιατί συμβάλλει στη ρύπανση της ατμόσφαιρας και προκαλεί ενόχληση στους κατοίκους της περιοχής. Η ανάγκη τηρήσεως των απαγορευτικών κανονισμών που έχει θεσπίσει η πολιτεία, καθώς και λόγοι κοινωνικής ευθύνης, υποχρεώνουν τα εργοστάσια να καθαρίσουν τα αέρια από τον κονιορτό, πριν τα αποβάλουν στην ατμόσφαιρα. Άλλωστε η εργασία αυτή συνδυάζεται συχνά με οικονομικό όφελος, γιατί τα στερεά συστατικά του κονιορτού είναι σε πολλές περιπτώσεις αξιοποιήσιμα για διάφορες χρήσεις.

Η απλούστερη μέθοδος καθαρισμού των αερίων από ένα σημαντικό μέρος του

κονιορτού είναι η διοχέτευσή τους σε **κονιοπαγίδες**. Πρόκειται για μεγάλους θάλαμους κυλινδρικού συνήθως σχήματος, στο κέντρο των οποίων εισάγεται εκ των άνω το αέριο με τον κονιορτό (σχ. 8.5α). Καθώς εισέρχεται το αέριο από τη σωλήνωση στο μεγάλο χώρο του θάλαμου, επέρχεται αντίστοιχη μείωσή της ταχύτητάς του και η σκόνη δεν μπορεί να συγκρατηθεί πια σε αιώρημα αλλά πέφτει προς τα κάτω με τη δύναμη της βαρύτητας. Κυρίως πέφτουν, βεβαίως, οι μεγαλύτεροι κόκκοι του κονιορτού, π.χ. μεγέθους άνω των 50 μm περίπου. Η πτώση αυτή διευκολύνεται από την κεκτημένη ταχύτητα των κόκκων προς τα κάτω, καθώς εισέρχονται στην κονιοπαγίδα, που δεν τους επιτρέπει να ακολουθήσουν την απότομη αλλαγή κατευθύνσεως των αερίων προς τα άνω και έξω.

Κονιοπαγίδες χρησιμοποιούνται συχνά στις βιομηχανίες, σαν πρώτο στάδιο καθαρισμού των αερίων. Π.χ. στα αέρια των υψικαμίνων επιτυγχάνεται κατακράτηση του 75% περίπου της παρασυρόμενης σκόνης.

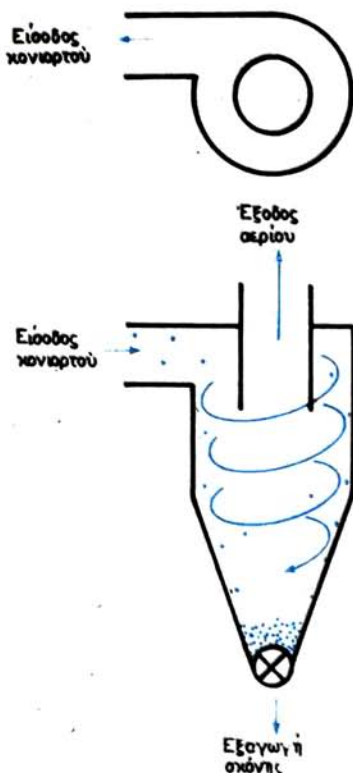


Σχ. 8.5α.

Κονιοπαγίδα για την κατακράτηση του κονιορτού. Η σκόνη εξαγεται από τον πυθμένα μέσω στεγανού μεταφορικού κοχλίου ή στομίου με πτερύγια, ώστε να μη διαφεύγει και αέριο.

8.5.2 Κυκλώνες.

Αποτελεσματικότερη κατακράτηση του κονιορτού γίνεται αν αντί για τη δύναμη της βαρύτητας χρησιμοποιηθεί η φυγόκεντρη δύναμη από την κυκλική κίνηση των κόκκων της σκόνης σε **κυκλώνες**. Το αέριο εισάγεται εφαπτομενικά, με μεγάλη σχετικά ταχύτητα (30 m/s περίπου) στο άνω τμήμα κωνικών δοχείων και αποκτά κατερχόμενη ελικοειδή κίνηση (σχ. 8.5β). Λόγω της φυγόκεντρης δυνάμεως οι κόκκοι του κονιορτού εκτοπίζονται προς το τοίχωμα του κώνου, προσκρούουν ε-



Σχ. 8.5β.

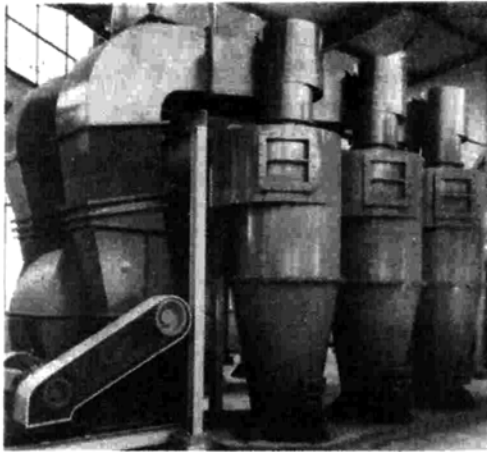
Κάτοψη και τομή ενός κυκλώνα κατακρατήσεως του κονιορτού.

πάνω του και πέφτουν στον πυθμένα, ενώ το καθαρό αέριο ανέρχεται από τον κεντρικό εσωτερικό σωλήνα προς την έξοδο του κυκλώνα.

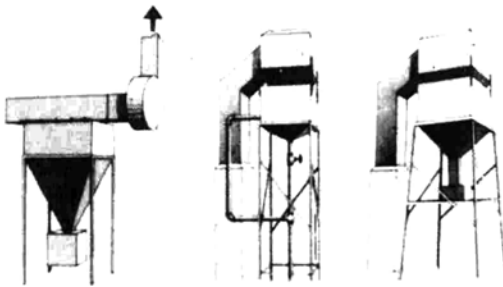
Οι κυκλώνες επιτυγχάνουν εύκολα κατακράτηση μέχρι του 95% της περιεχόμενης σκόνης σε μέγεθος κόκκων από 5 μέχρι 200 μm περίπου. Όπως είδαμε όμως, ήδη από το μέγεθος 50 μm περίπου και άνω είναι προτιμότερη η χρησιμοποίηση απλώς κονιοπαγίδων. Εκεί η κατακράτηση των κόκκων γίνεται χωρίς δαπάνη ενέργειας σε φυσητήρες για την πρόσδοση μεγάλης ταχύτητας στα αέρια, που αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία των κυκλώνων. Πάντως, η χρησιμοποίηση κυκλώνων είναι ο πιο συνηθισμένος και ένας από τους πιο φθηνούς τρόπους καθαρισμού των αερίων. Μια πολύ κοινή εφαρμογή τους είναι οι καπνοσυστάκτες για την κατακράτηση της αιθάλης από τα καυσαέρια (σχ. 8.5γ).

8.5.3 Σακκόφιλτρα.

Πλήρης σχεδόν κατακράτηση του κονιορτού σε μέγεθος κόκκου από 1 μm μέχρι 1 mm (1000 μm) περίπου είναι δυνατή στα **σακκόφιλτρα** με τη χρησιμοποίηση υφασμάτινων φίλτρων από φυσικές ή τεχνητές ίνες, όπως π.χ. μπαμπάκι, μαλλί, αμιάντος, γυαλί, νάυλον, πολυεστέρες και άλλα πολυμερή υλικά. Τα φίλτρα κατασκευάζονται σε σχήμα σάκκων ή σωλήνων διαμέτρου 10-25 cm και μήκους 2-5



(α)



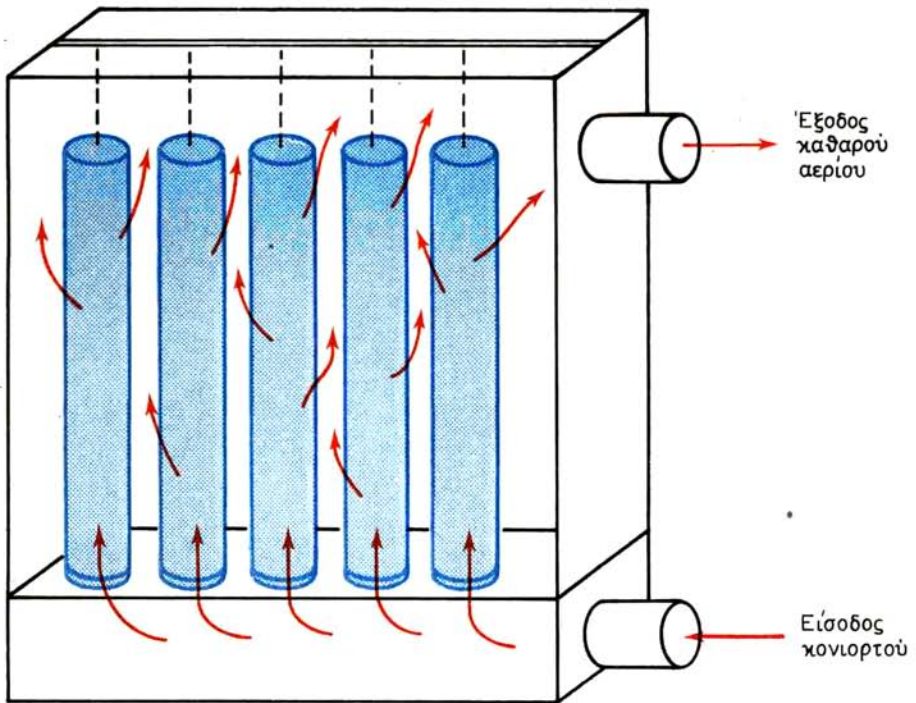
(β)

Σχ. 8.5γ.

α) Σειρά 3 κυκλώνων για την κατακράτηση της τέφρας και της αιθάλης από τα καυσαέρια μιας βιομηχανίας. Αριστερά είναι ο φυγοκεντρικός φυσητήρας, που αναρροφά τα καθαρά καυσαέρια από τους κυκλώνες. β) Διάφοροι τύποι μικρών αιθαλοσυλλεκτών για τον καθαρισμό βιομηχανικών ή και οικιακών καυσαερίων.

τη περίπτωση και τοποθετούνται σε μεγάλους θάλαμους, αναρτημένα σε μεταλλικά ικριώματα (σχ. 8.5δ). Ο κονιορτός, ύστερα από μερικό προκαθαρισμό σε κονιοπαγίδες ή κυκλώνες, διοχετεύεται μέσα από τα φίλτρα και η σκόνη συγκρατείται επάνω στο ύφασμα σε ποσοστό που φτάνει το 99,0% μέχρι 99,5% περίπου. Η υψηλή αυτή απόδοση επιτυγχάνεται συνήθως ύστερα από μία αρχική περίοδο λειτουργίας λίγων λεπτών ή δευτερολέπτων ώστε οι κόκκοι της σκόνης να φράξουν τους σχετικά μεγαλύτερους από τους πόρους του φίλτρου. Με περιοδικά τινάγματα των φίλτρων ανά 2-3 λεπτά, μέσω ενός αυτόματου μηχανικού συστήματος, η συγκρατημένη σκόνη αποσπάται από τα υφάσματα, πέφτει στον πυθμένα του θαλάμου και απομακρύνεται με μεταφορικούς κοχλίες (σχ. 8.5ε).

Η χρησιμοποίηση των σακκοφίλτρων είναι δυνατή μόνο όταν τα αέρια είναι ξηρά και σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας. Η υγρασία προκαλεί την πλήρη έμφραξη



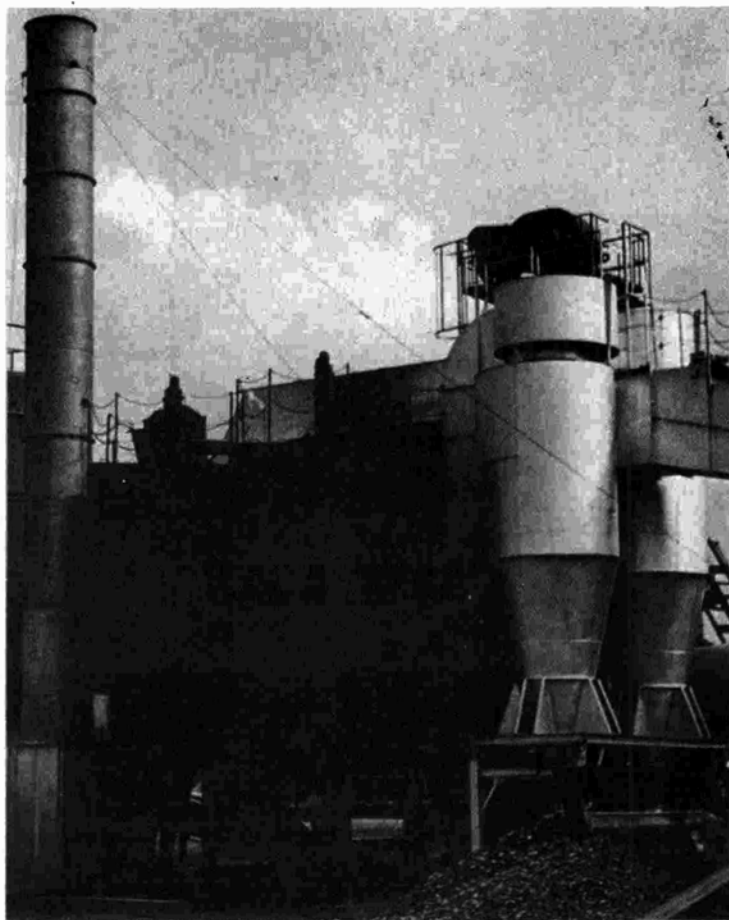
Σχ. 8.56.

Η ανάρτηση των φίλτρων και η κυκλοφορία των αερίων σε ένα σακκόφιλτρο.

των πόρων του υφάσματος, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η διέλευση του αερίου, η δε υψηλή θερμοκρασία καταστρέφει τις ίνες του, ιδίως αν το ύφασμα είναι κατασκευασμένο από μη ανθεκτικό υλικό. Π.χ. το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο θερμοκρασίας για φίλτρα από μπαμπάκι είναι 70°C, από νάυλον ή από μαλλί 95°C, από πολυεστέρες 140°C, από γυαλί 260°C και από αμιάντο 350°C.

8.5.4 Φίλτρα αέρα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως π.χ. στις βιομηχανίες παραγωγής φαρμάκων, ο ατμοσφαιρικός αέρας, που κυκλοφορεί στους χώρους του εργοστασίου, πρέπει να είναι ιδιαίτερα καθαρός, απαλλαγμένος και από τους μικρότερους κόκκους της σκόνης, μεγέθους μέχρι 0,2μm περίπου. Για το σκοπό αυτό, ο αέρας διοχετεύεται μέσα από ειδικά **φίλτρα αέρα** (σχ. 8.5στ) που αποτελούνται από μεταλλικά πλαίσια, στα οποία είναι προσαρμοσμένα λεπτοπορώδη υλικά, όπως π.χ. εμποτισμένο χαρτί, τσόχα, μίγμα κυτταρίνης και αμιάντου ή ινών γυαλιού και χαρτιού κλπ. Τα τελευταία από τα υλικά αυτά είναι ικανά να συγκρατούν ακόμα και τους αιωρούμενους μικροοργανισμούς, ώστε ο αέρας που περνά από τη μάζα τους να θεωρείται αποστειρωμένος (στείρα διήθηση).



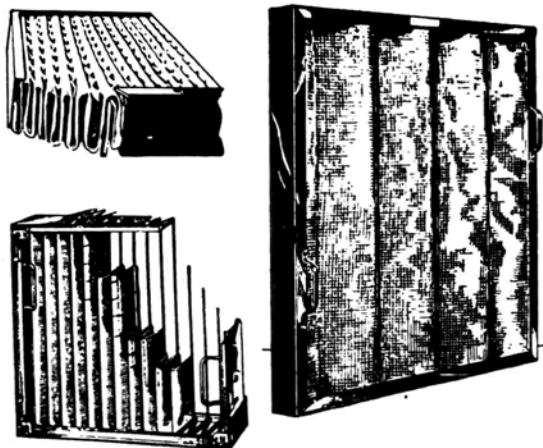
Σχ. 8.5ε.

Οι δύο κυκλώνες στο δεξιό τμήμα της φωτογραφίας εκτελούν προκαθαρισμό των αερίων ενός βιομηχανικού ξηραντηρίου, πριν από την εισαγωγή τους στα σακκόφιλτρα, που είναι τοποθετημένα στα δύο κυλινδρικά δοχεία, δίπλα στην καπνοδόχο.

Τα φίλτρα αέρα είναι είτε μιας μόνο χρήσεως, δηλαδή απορρίπτονται όταν αποφραχθούν εντελώς οι πόροι τους και δεν αφήνουν καθόλου τον αέρα να περάσει, είτε πλένονται για να απαλλαγούν από τη σκόνη και ξαναχρησιμοποιούνται.

8.5.5 Πύργοι πλύσεως.

Όπως είδαμε ως τώρα, για να πραγματοποιηθεί με επιτυχία η κατακράτηση του κονιορτού στις βιομηχανικές συσκευές, είναι απαραίτητο να μη περιέχεται στο αέριο υγρασία σε υψηλό ποσοστό. Πρόκειται δηλαδή για **ξηρές μεθόδους** καθαρισμού των αερίων. Ικανοποιητικός όμως καθαρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί επίσης με τις **υγρές μεθόδους**, όπου η κατακράτηση του κονιορτού επιδιώκεται εί-



Σχ. 8.5στ.

Διάφοροι τύποι φίλτρων αέρα.

Το χάρτινο φίλτρο άνω αριστερά είναι μιας μόνο χρήσεως. Το μεταλλικό πλαίσιο κάτω αριστερά είναι μόνιμο και γίνεται αντικατάσταση του αναδιπλωμένου φίλτρου. Το φίλτρο που συγκρατείται στο μεταλλικό πλέγμα δεξιά, πλένεται και ξαναχρησιμοποιείται.

τε με την προσκόλληση των κόκκων της σκόνης σε σταγόνες ή σε επιφάνειες νερού, είτε με την προσρόφηση μορίων νερού σε αυτούς, ώστε να αυξηθεί το βάρος τους. Όταν οι κόκκοι αποκτήσουν μεγάλο σχετικά βάρος, δεν μπορούν να παραμείνουν πια σε αιώρημα στον κονιορτό και αποχωρίζονται πέφτοντας με τη δύναμη της βαρύτητας.

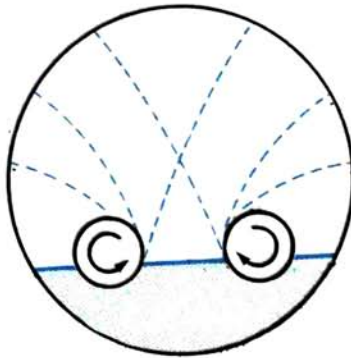
Οι κυριότερες βιομηχανικές συσκευές για τον καθαρισμό των αερίων με υγρές μεθόδους είναι οι **πύργοι πλύσεως** και τα **πλυντήρια αερίων**.

Η κατασκευή και η λειτουργία των πύργων πλύσεως είναι όμοιες με των πύργων απορροφήσεως αερίων που γνωρίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η μόνη διαφορά είναι ότι τώρα δεν επιδιώκεται η διάλυση ενός ή περισσότερων από τα αέρια συστατικά ενός αερίου μίγματος, αλλά η κατακράτηση των αιωρούμενων στερεών κόκκων. Συνήθως χρησιμοποιούνται **πύργοι καταιονισμού** (σχ. 7.7ιβ), στον κενό χώρο των οποίων εκτοξεύεται νερό, σαν βροχή, σε σταγόνες διαμέτρου 0,5 μέχρι 1,0 mm περίπου. Ο κονιορτός εισάγεται είτε στη βάση του πύργου και τον διασχίζει **κατ' αντιρροή** προς τις κατερχόμενες σταγόνες, είτε διαβιβάζεται στην κορυφή του και κινείται **σε ομορροή** με το νερό. Το μέγεθος των κόκκων, που προσκολλούνται στις σταγόνες και κατακρατούνται τελικά στο νερό που συγκεντρώνεται στον πυθμένα του πύργου, είναι από 10μm και άνω.

Σπανιότερα χρησιμοποιούνται οι **πύργοι πληρώσεως** (σχ. 7.7ι), αν και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα κατακρατήσεως κονιορτού με κόκκους μεγέθους σχεδόν μέχρι 1μm. Το υλικό πληρώσεως των πύργων αυτών αποτελείται συνήθως από τεμάχια κωκ, χαλίκια ή άμμο.

8.5.6 Πλυντήρια αερίων.

Τα **πλυντήρια εκτοξεύσεως** στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με τους πύργους καταιονισμού. Αποτελούνται από μεγάλα κυλινδρικά δοχεία, κατά το $\frac{1}{4}$ περίπου πλήρη με νερό. Δύο άξονες, με σειρές από μεταλλικούς δίσκους προσαρμοσμένους σε μικρές αποστάσεις, είναι μισοβυθισμένοι στο νερό και περιστρέφονται με αντίθετη φορά (σχ. 8.5ζ). Η περιστροφή των δίσκων έχει ως αποτέλεσμα την εκτόξευση σταγόνων νερού προς τον άνω κενό χώρο του δοχείου, όπου κυκλοφορεί το αέριο με τον κονιορτό. Όπως και στην περίπτωση των πύργων καταιονισμού, οι κόκκοι του κονιορτού προσκολλούνται στις σταγόνες του νερού και πέφτουν προς τα κάτω.



Σχ. 8.5ζ.

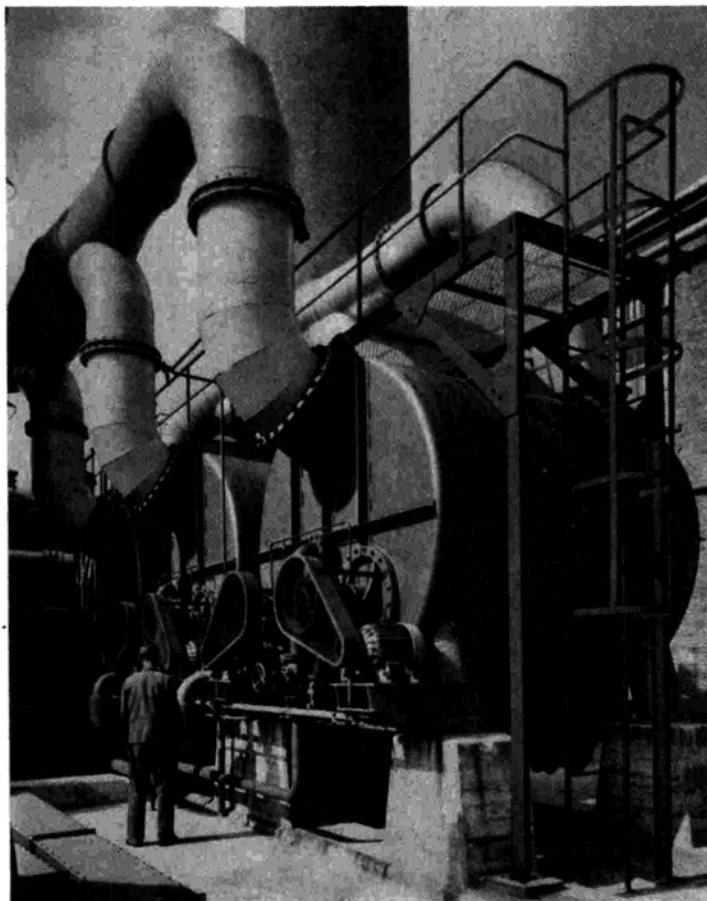
Η αρχή της λειτουργίας του πλυντηρίου εκτοξεύσεως.

Όταν οι ποσότητες των αερίων που πρόκειται να καθαρισθούν είναι πολύ μεγάλες, χρησιμοποιούνται περισσότερα πλυντήρια σε παράλληλη σύνδεση. Τα τρία πλυντήρια του σχήματος 8.5η έχουν συνολική ημερήσια ικανότητα καθαρισμού $1.400.000 \text{ m}^3$ αερίου με κονιορτό.

Τα **πλυντήρια ακροφυσίου** έχουν πολλές ομοιότητες με τους εγχυτήρες, που γνωρίσαμε στην παράγραφο 5.3. Στην κορυφή ενός κωνικού πύργου εκτοξεύεται νερό προς τα κάτω με μεγάλη πίεση, σε σταγονίδια διαμέτρου $0,1 \text{ mm}$ περίπου, τα οποία συμπαρασύρουν ή συλλαμβάνουν τους κόκκους του κονιορτού, που εισάγεται επίσης στο ίδιο σημείο του πύργου. Ο αποχωρισμός των σταγονιδίων και των κόκκων από το καθαρό αέριο διευκολύνεται με μία απότομη αναστροφή της κατευθύνσεως τους προς τα άνω, την οποία δεν ακολουθούν τα στερεά και υγρά συστατικά, λόγω της αδράνειάς τους (σχ. 8.5θ). Το μέγεθος των κόκκων του κονιορτού που κατακρατείται στα πλυντήρια ακροφυσίου είναι μέχρι $1 \mu\text{m}$ περίπου.

8.5.7 Ηλεκτρόφιλτρα.

Εκτός από τις παραπάνω ξηρές και υγρές μεθόδους καθαρισμού των αερίων σήμερα χρησιμοποιείται σε διαρκώς αυξανόμενη κλίμακα και μια άλλη μέθοδος, που στηρίζεται σε εντελώς διαφορετική αρχή λειτουργίας. Πρόκειται για τον **ηλε-**

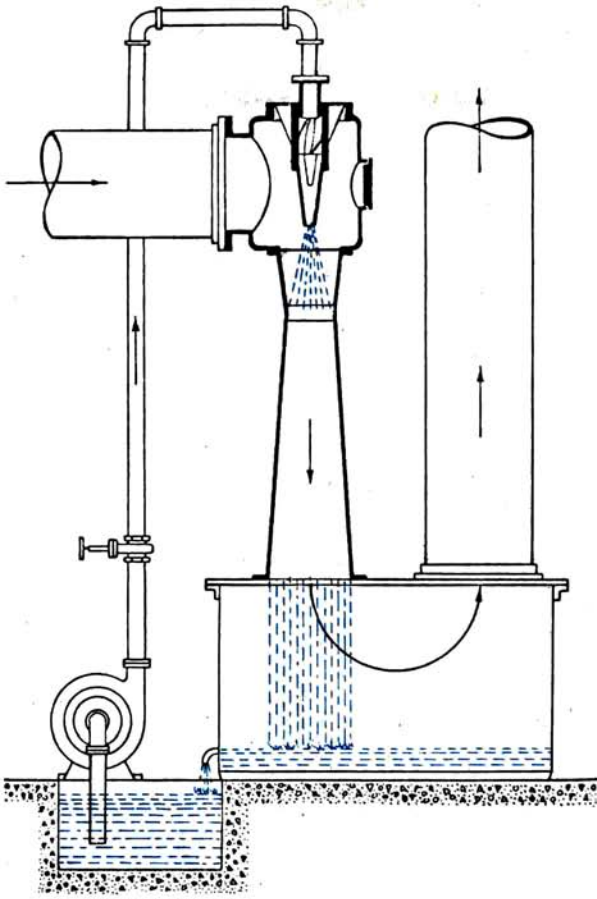


Σχ. 8.5η.

Τρία πλυντήρια εκτοξεύσεως για τον καθαρισμό αερίων.

Στο εμπρός μέρος των κυλινδρικών δοχείων διακρίνονται οι ηλεκτροκινητήρες, ιμάντες και τροχαλίες κινήσεως των αξόνων των περιστρεφόμενων δίσκων.

κτροστατικό καθαρισμό, που διεξάγεται σε **ηλεκτρόφιλτρα**. Το αέριο με τον κονιορτό οδηγείται σε θάλαμους, όπου με τη χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων μεγάλων διαστάσεων εφαρμόζονται πολύ υψηλές ηλεκτρικές τάσεις (50000-70000 volts) και προκαλείται απόσπαση ηλεκτρονίων από τα άτομα και μόρια του αερίου. Τα φορτισμένα σωματίδια που σχηματίζονται, δηλαδή τα ηλεκτρόνια με αρνητικό φορτίο και ιόντα με θετικό φορτίο, κινούνται προς τα αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια και κατά τη διαδρομή τους προσκρούουν στους κόκκους του κονιορτού, με αποτέλεσμα να τους συμπαρασύρουν προς τα ηλεκτρόδια. Κυρίως, επικρατεί η δράση των ηλεκτρονίων και οι κόκκοι του κονιορτού συγκεντρώνονται στην επιφάνεια των θετικών ηλεκτροδίων, όπου αποφορτίζονται και πέφτουν με τη δύναμη της βαρύτητας προς τον πυθμένα του θαλάμου (σχ. 8.5ι).



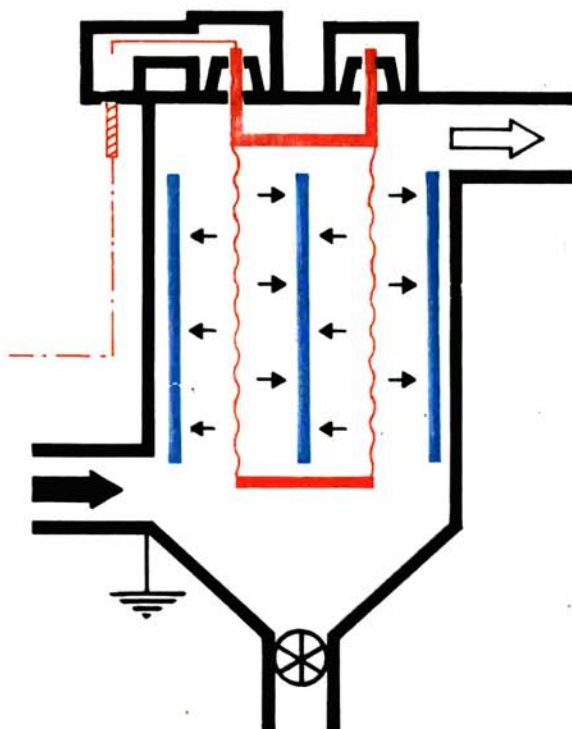
Σχ. 8.5θ.

Καθαρισμός αερίων με τη μέθοδο του πλυντηρίου ακροφυσίου.

Η απαιτούμενη υψηλή πίεση του νερού δημιουργείται στην πολυβάθμια φυγόκεντρη αντλία.

Ως αρνητικά ηλεκτρόδια (κάθοδοι) χρησιμοποιούνται συνήθως στα ηλεκτρόφιльтра σύρματα από ανθεκτικά μέταλλα, όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι χαλκός, ο μόλυβδος, διαμέτρου 1,5 έως 3,0 mm περίπου. Τα θετικά ηλεκτρόδια (άνοδοι) είναι γειωμένες πλάκες από ανθεκτικά επίσης μέταλλα, αναρτημένες σε αποστάσεις ανά 20-30 cm περίπου (σχ. 8.5ια). Το αέριο διέρχεται μεταξύ των ηλεκτροδίων με μικρή σχετικά ταχύτητα και απαλλάσσεται από τους κόκκους του κονιορτού μεγέθους 0,1 έως 20μm περίπου κατά ποσοστό 95% ή και μεγαλύτερο. Αν το ηλεκτρόφιλτρο λειτουργεί στις ευνοϊκότερες συνθήκες ηλεκτρικής τάσεως, υγρασίας, θερμοκρασίας και ταχύτητας του αερίου, η κατακράτηση του κονιορτού φθάνει μέχρι 99,9%.

Σημαντικό μειονέκτημα των ηλεκτροφίλτρων είναι το υψηλό κόστος εγκαταστάσεως και λειτουργίας. Γι' αυτό προηγείται πάντοτε προκαθαρισμός των αερίων σε άλλες απλούστερες βιομηχανικές συσκευές (κονιοπαγίδες, κυκλώνες, πύργοι πλύ-



Σχ. 8.5ι.

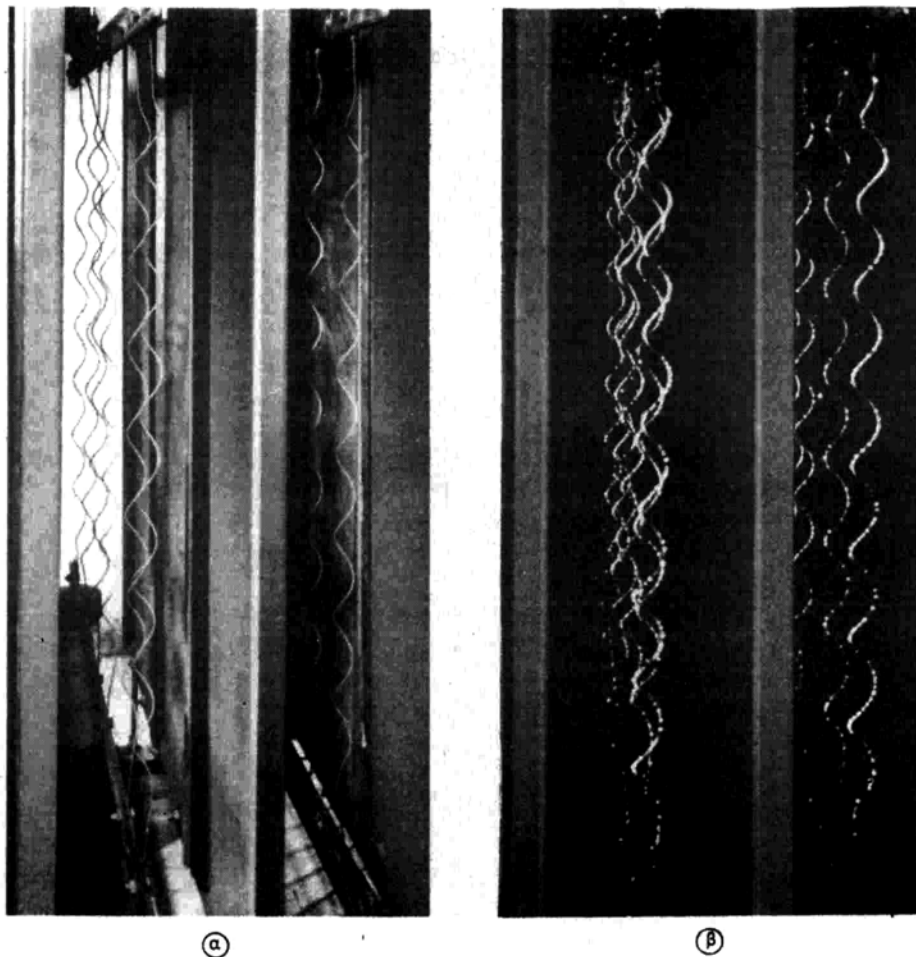
Η κίνηση των κόκκων του κονιορτού από το χώρο των καθόδων προς τις ανόδους, κατά τη διέλευση του ακάθαρτου αερίου διαβέσου ενός ηλεκτρόφιльтρου.

σεως, πλυντηρια), ώστε να έχει ήδη απομακρυνθεί ένα σημαντικό μέρος του κονιορτού, πριν φθάσουν στο ηλεκτρόφιльтρο. Στο σχήμα 8.5ιβ βλέπομε μια συνδυασμένη εγκατάσταση καθαρισμού των αερίων μιας χαλυβουργίας, που περιλαμβάνει το διαδοχικό καθαρισμό τους σε ένα μεγάλο πύργο καταιονισμού και ένα ηλεκτρόφιльтρο, προτού αποβληθούν στην ατμόσφαιρα από την καπνοδόχο.

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟ ΥΓΡΑ

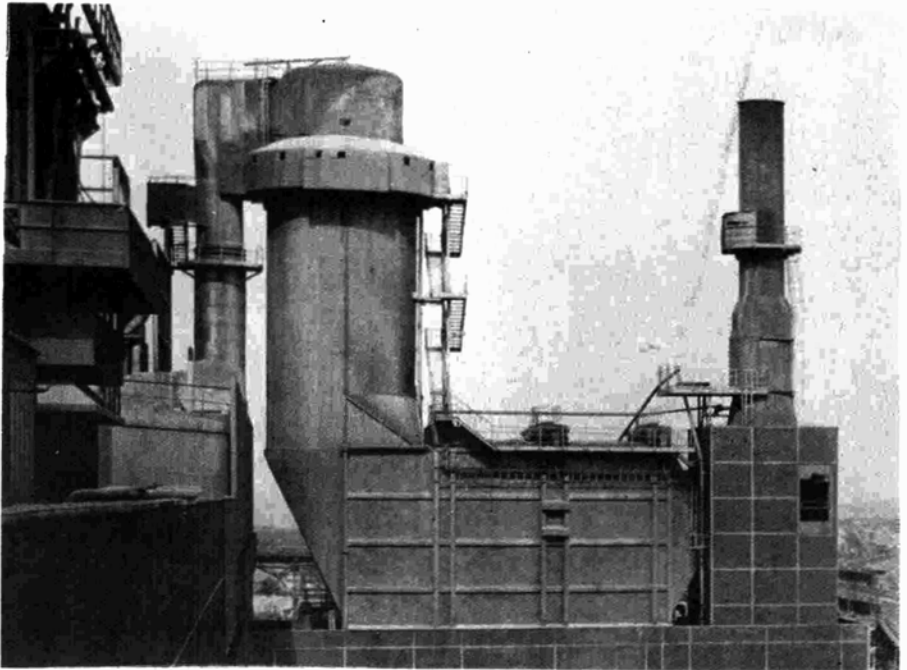
8.6 Καθίζηση.

Όταν οι κόκκοι του διασπαρμένου στερεού σε ένα υγρό αιώρημα που βρίσκεται σε ηρεμία σε ένα δοχείο, έχουν διαφορετική πυκνότητα από το υγρό, παρουσιάζεται αυθόρμητα με τη δύναμη της βαρύτητας η τάση διαχωρισμού των κόκκων από το υγρό και η βαθμιαία *διαύγωση* του. Αν η πυκνότητα του στερεού είναι μεγαλύτερη από του υγρού, οι κόκκοι καθιζάνουν προς τον πυθμένα του δοχείου, ενώ στην αντίθεση περίπτωση ανέρχονται και επιλέουν στην επιφάνεια του υγρού. Το πρώτο φαινόμενο ονομάζεται *καθίζηση* και το δεύτερο *επιπλευση* των αιωρημάτων.


Σχ. 8.5α.

Αναρτημένα αρνητικά (σύρματα) και θετικά (πλάκες) ηλεκτρόδια στο εσωτερικό ενός ηλεκτρόφιλου. Τα σύρματα στη δεξιά φωτογραφία φωτίζονται από τις συνεχείς ηλεκτρικές εκκενώσεις, που παράγονται μεταξύ των ηλεκτροδίων κατά τη λειτουργία του ηλεκτρόφιλου.

Η αυθόρμητη καθίζηση των αιωρημάτων διεξάγεται συνήθως με πολύ βραδύ ρυθμό, γι' αυτό απαιτείται συχνά η επιτάχυνσή του με τη βοήθεια χημικών ή μηχανικών μέσων, ώστε να μη καθυστερεί υπερβολικά η διαδικασία του διαχωρισμού. Π.χ. με την προσθήκη στο αιώρημα μικρών ποσοτήτων **θρομβωτικών ουσιών**, όπως είναι το θειικό αργίλιο, οι συττηρήδες και άλλα άλατα, είτε διευκολύνεται η συνένωση των μικροτέρων κόκκων του διασπαρμένου στερεού, μεγέθους 0,1 έως 2 μm και ο σχηματισμός μεγαλύτερων συσσωματωμάτων που καθιζάνουν ταχύτερα,



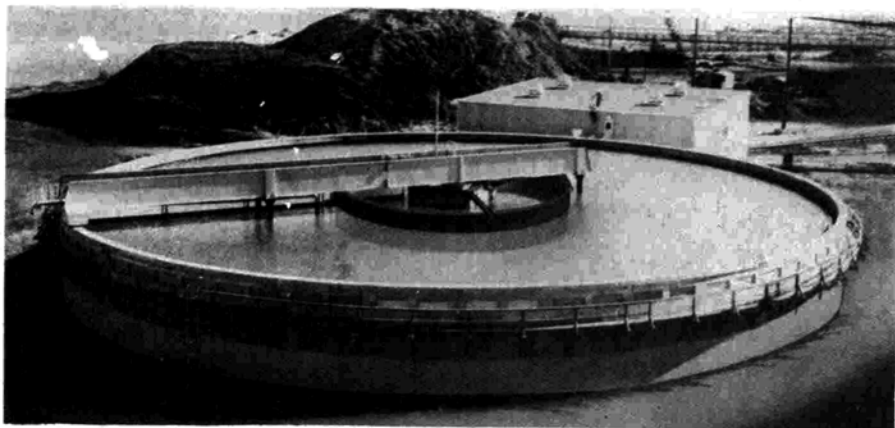
Σχ. 8.5ιβ.

Εγκατάσταση διαδοχικού καθαρισμού αερίων σε πύργο καταιονισμού και ηλεκτρόφιλτρο. Το αέριο με τον κονιορτό ανέρχεται στον αριστερό κατακόρυφο σωλήνα, εισάγεται στην κορυφή του πύργου καταιονισμού και κατόπιν κινείται οριζόντια μέσω του ηλεκτρόφιλτρου προς την καπνοδόχο.

είτε σχηματίζεται στο αιώρημα ένα νέφος από κολλοειδείς ουσίες που καθώς κατέρχεται προς τον πυθμένα παρασύρει μαζί του και τους αιωρούμενους κόκκους.

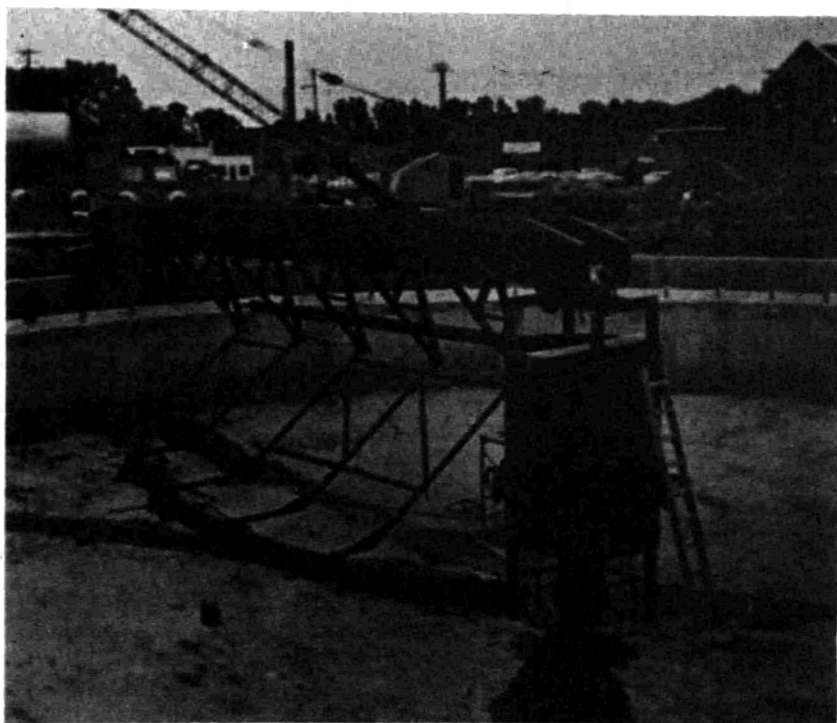
Μηχανική θρόμβωση πραγματοποιείται συνήθως με ήπια ανάδευση και καθίζηση των αιωρημάτων ώστε να δοθεί η ευκαιρία στους κόκκους του στερεού να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους και να συσσωματωθούν. Η διεργασία αυτή ονομάζεται **πάχυνση** του αιωρήματος και διεξάγεται σε μεγάλες δεξαμενές, χαλύβδινες ή από μπετόν, διαμέτρου 10 έως 50 m και βάθους 2 έως 5 m περίπου (σχ. 8.6α), όπου περιστρέφονται ένας ή περισσότεροι βραχίονες με βραδύτατο ρυθμό (π.χ. 2 έως 3 περιστροφές την ώρα). Στο κάτω μέρος ο βραχίονας έχει στερεωμένα ξέστρα, τα οποία προωθούν το ίζημα που κατακαθίζει στον κωνικό πυθμένα της δεξαμενής και το συγκεντρώνουν στο κεντρικό στόμιο εξαγωγής (σχ. 8.6β). Από εκεί το ίζημα απομακρύνεται είτε με υπόγεια σωλήνωση είτε με άντληση σε μορφή αραιής λάσπης, το δε διαυγασμένο υγρό υπερχειλίζει στο άνω μέρος της δεξαμενής (σχ. 8.6γ).

Ο χρόνος που απαιτείται να παραμείνουν τα αιωρήματα στους **παχυντές**, μέχρι να πραγματοποιηθεί ικανοποιητική καθίζηση, είναι περίπου 1 έως 2 ώρες και εξαρτάται από το εμβαδό της δεξαμενής. Επειδή η ταχύτητα καθόδου των στερεών



Σχ. 8.6α.

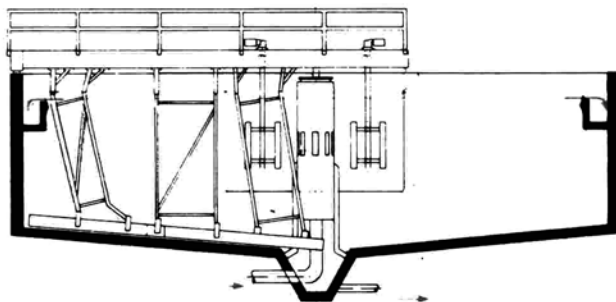
Δεξαμενή καθιζήσεως και παχύνσεως για τον καθαρισμό υδατικού αιωρήματος βιομηχανικών αποβλήτων.



Σχ. 8.6β.

Περιστρεφόμενος βραχίονας με ξέστρα του πυθμένα σε κενή δεξαμενή καθιζήσεως.

συστατικών κάθε αιωρήματος προς τον πυθμένα της δεξαμενής είναι σταθερή, όσο μεγαλύτερη επιφάνεια και επομένως όσο μικρότερο βάθος έχει ο παχυντής, στον οποίο εισάγεται μία ποσότητα ακάθαρτου υγρού, τόσο ταχύτερα θα γίνει η συγκέντρωση του ιζήματος στον πυθμένα του. Συνήθως οι παχυντές, όπως των σχημάτων 8.6γ και 8.9δ, είναι συνεχούς λειτουργίας και η ικανότητά τους, εκφρασμένη σε ωριαία παροχή υγρού ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας της δεξαμενής, είναι 0,5 έως 2,5 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ περίπου, ανάλογα με το είδος του αιωρήματος και την ταχύτητα καθιζήσεώς του.



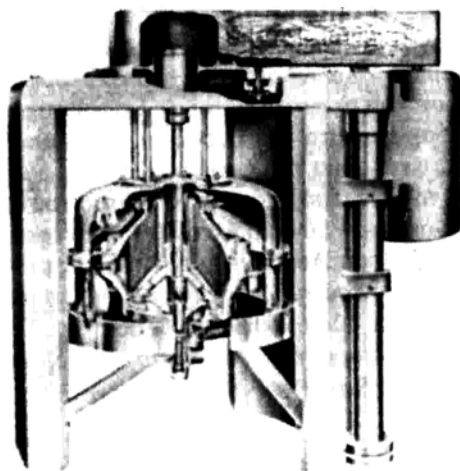
Σχ. 8.6γ.

Δεξαμενή καθιζήσεως και παχύνσεως, όπως του σχήματος 8.5α, με εισαγωγή του αιωρήματος εκ των κάτω στο κέντρο της δεξαμενής, εξαγωγή της λάσπης από τον πυθμένα και υπερχειλίση του διαυγούς νερού σε περιφερειακό αυλάκι. Στον περιστρεφόμενο βραχίονα είναι προσαρμοσμένοι δύο αναδευτήρες για τη διασπορά της θρομβωτικής ουσίας.

8.7 Φυγόκεντρωση.

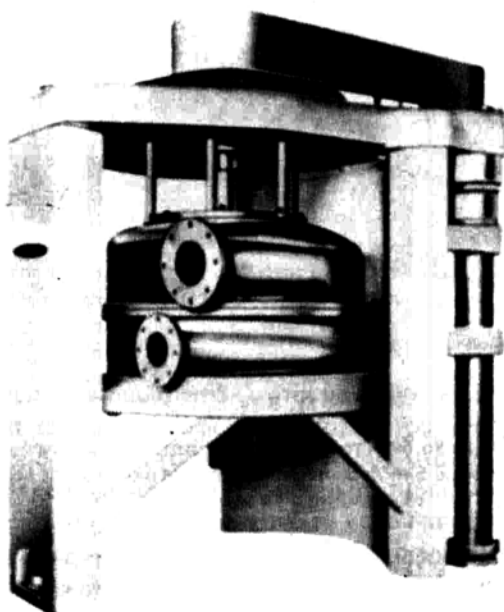
Όταν η δύναμη της βαρύτητας, η προσθήκη θρομβωτικών ουσιών και η ήπια ανάδευση δεν επαρκούν για την καθίζηση των κόκκων του αιωρήματος σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα, γίνεται αναγκαία η εξάσκηση ισχυροτέρων δυνάμεων επάνω στους κόκκους. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως **φυγόκεντρες** μηχανές που περιστρέφονται με ταχύτητα 1000 έως 10.000 στροφών το λεπτό περίπου. Η φυγόκεντρη δύναμη, που αναπτύσσεται και μεταδίδεται στους κόκκους του αιωρήματος, μπορεί να αποκτήσει τιμή μέχρι 15.000 φορές μεγαλύτερη από τη δύναμη της βαρύτητας και επομένως να επιταχύνει αντίστοιχα το διαχωρισμό τους.

Οι βιομηχανικές φυγόκεντρες είναι κατακόρυφου ή οριζόντιου τύπου. Στις **κατακόρυφες φυγόκεντρες** το αιώρημα εισάγεται από το επάνω μέρος στο κέντρο ενός κυλινδρικού δοχείου διαμέτρου 20 έως 60 cm, που περιέχει μια περιστρεφόμενη δέσμη από πυκνά τοποθετημένους κωνικούς δίσκους (σχ. 8.7α). Η φυγόκεντρη δύναμη που δημιουργείται με την περιστροφή των δίσκων, εκτοπίζει τους κόκκους του αιωρήματος προς το τοίχωμα του δοχείου και στη συνέχεια προς το πλευρικό στόμιο εξαγωγής, στο κάτω τμήμα του δοχείου. Το διαυγές υγρό εξάγεται από το


Σχ. 8.7α.

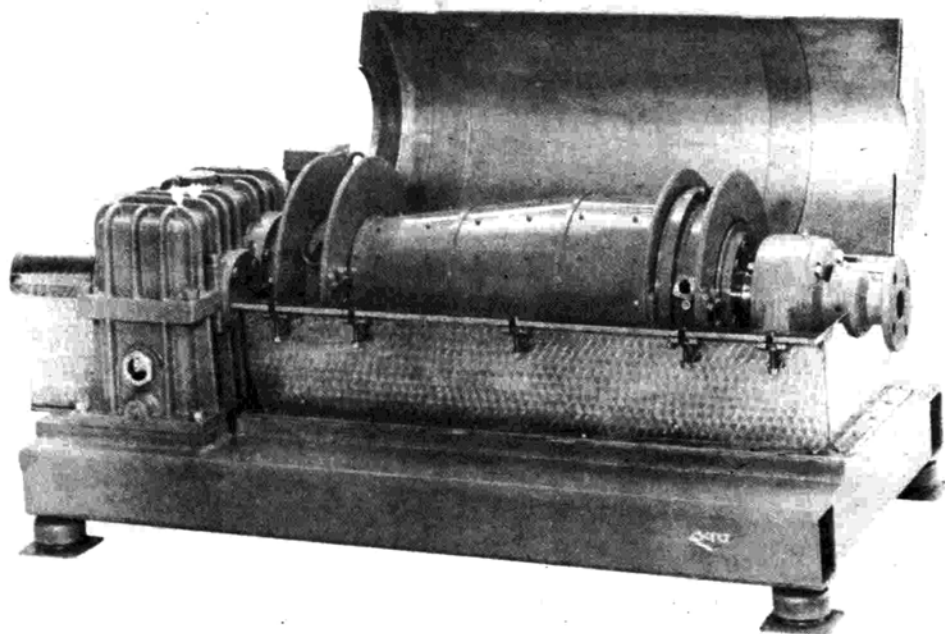
Τομή σε κατακόρυφη φυγόκεντρη. Στο εσωτερικό του δοχείου διακρίνονται οι κωνικοί δίσκοι που μεταδίνουν τη φυγόκεντρη δύναμη.

πλευρικό στόμιο, που βρίσκεται στο άνω τμήμα του δοχείου, έξω από την άμεση επίδραση της φυγόκεντρης δυνάμεως (σχ. 8.7β).


Σχ. 8.7β.

Φωτογραφία της φυγόκεντρης του σχήματος 8.5δ.

Στο σχήμα 8.7γ εικονίζεται μια **οριζόντια φυγόκεντρη**, που αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, κυλινδρικό στο πρώτο μέρος και κωνικό στο δεύτερο, στο εσωτερικό του οποίου περιστρέφεται με διαφορετική ταχύτητα ένας μεταφορικός κοχλίας (δεν φαίνεται στη φωτογραφία). Το τύμπανο περιβάλλεται από ένα μεταλλικό κέλυφος, το κάλυμμα του οποίου είναι στη φωτογραφία ανοικτό. Το αιώρημα εισάγεται από το αριστερό στόμιο στο κέντρο του κυλινδρικού τμήματος του τυμπάνου και η φυγόκεντρη δύναμη εκτοπίζει τα στερεά συστατικά του προς την περιφέρεια. Από εκεί τα παραλαμβάνει ο εσωτερικός μεταφορικός κοχλίας και τα οδηγεί κατά μήκος του κωνικού τμήματος του τυμπάνου μέχρι το στόμιο εξαγωγής, που βρίσκεται μεταξύ των δύο δίσκων στο δεξιό άκρο. Το διαυγές υγρό εξαγεται από το στόμιο, που βρίσκεται μεταξύ των άλλων δύο δίσκων, στο άκρο του κυλινδρικού τμήματος του τυμπάνου.



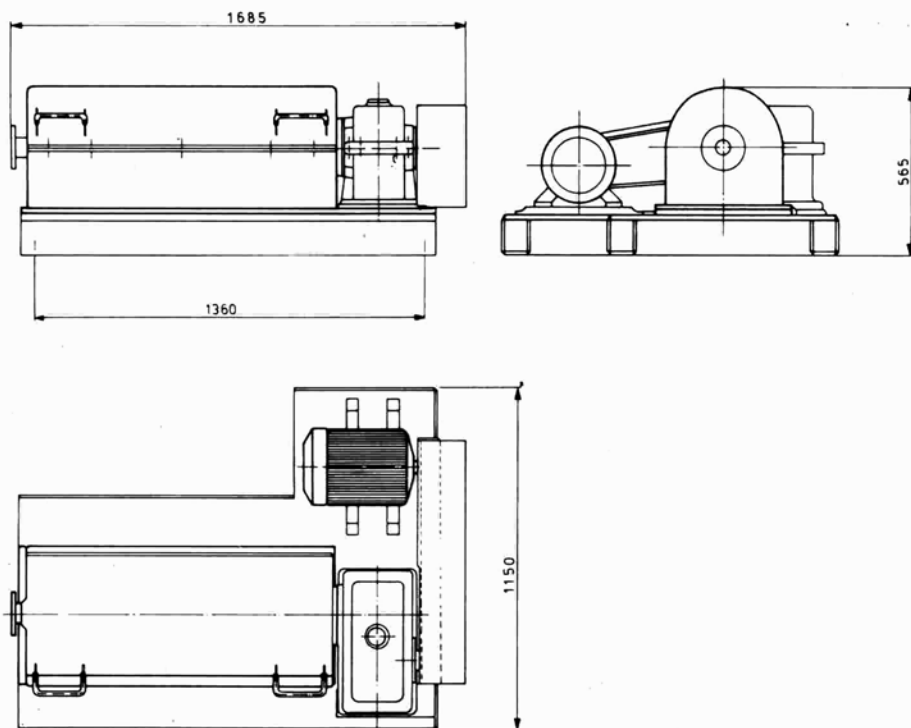
Σχ. 8.7γ.

Οριζόντια φυγόκεντρη με τύμπανο διαμέτρου 30 cm, ταχύτητας περιστροφής 3000 στροφών ανά λεπτό και ικανότητας διαχωρισμού 5 m³/h αιωρήματος. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας το κάλυμμα του κελύφους είναι κλειστό.

Οι φυγόκεντρες παρουσιάζουν το πλεονέκτημα, σε σύγκριση με τους παχυντές, ότι διαχωρίζουν τα υγρά σε διαυγέστερη κατάσταση και τα στερεά σε περισσότερο συμπυκνωμένη μορφή λάσπης. Επίσης, ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάσταση των φυγοκέντρων (σχ. 8.7δ) είναι πολύ μικρότερος από την έκταση που χρειάζεται για την ανέγερση των δεξαμενών των παχυντών. Μειονέκτημα των φυγοκέντρων είναι η σχετικά μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

8.8 Επίπλευση.

Ο διαχωρισμός των υδατικών αιωρημάτων, με άνοδο των στερεών συστατικών προς την επιφάνεια του υγρού, εφαρμόζεται συνήθως στον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων με τη χρησιμοποίηση ειδικών **συσκευών επίπλευσης** (σχ. 8.8). Το μετάλλευμα αλέθεται σε μικρούς κόκκους και αναμιγνύεται με νερό, ώστε να

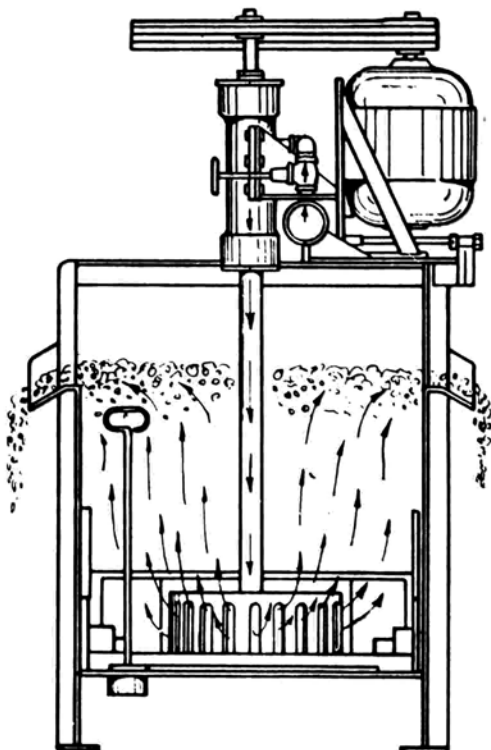


Σχ. 8.76.

Σχέδιο τριών όψεων της φυγόκεντρης του σχήματος 8.7γ, με τον ηλεκτροκινητήρα, τον ιμάντα και το μηχανισμό μεταδόσεως της κινήσεως στο τύμπανο και τον εσωτερικό κοχλία. Οι διαστάσεις είναι σε mm.

σχηματίζει αιώρημα, στο οποίο επιδιώκεται με εκλεκτική επίπλευση να ανέλθουν στην επιφάνεια τα χρήσιμα υδρόφοβα συστατικά του, όπως το κάρβουνο και το θειάφι, ενώ τα υδρόφιλα συστατικά κατακαθίζονται στον πυθμένα της συσκευής. Γίνεται, δηλαδή, εκμετάλλευση της διαφορετικής συμπεριφοράς των υδρόφοβων στερεών, που καθώς δεν διαβρέχονται από το νερό διατηρούν την ευκινησία τους μέσα στο αιώρημα, και των υδρόφιλων στερεών, που εμποτίζονται από το νερό, αυξάνουν σε βάρος και πέφτουν προς τον πυθμένα.

Στο αιώρημα γίνεται εμφύσηση ισχυρού ρεύματος αέρα και καθώς ανέρχονται οι φυσαλίδες προσκολλούνται στους αιωρούμενους υδρόφοβους στερεούς κόκκους και τους μεταφέρουν, σαν σωσίβια, προς την επιφάνεια, έστω αν η πυκνότητα του στερεού είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού. Η διεργασία διευκο-



Σχ. 8.8.

Συσκευή επιπλεύσεως με εμφύσηση αέρα μέσω ενός περιστρεφόμενου τροχού. Τα υδρόφιλα συστατικά απομακρύνονται περιοδικά από τον πυθμένα, με χειρισμό του πώματος. Στο σχήμα δεν σχεδιάστηκε το στόμιο εισαγωγής του αιωρήματος στη συσκευή.

λύνεται με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων καταλλήλων χημικών ουσιών, όπως λιπαρά οξέα, αμίνες, πετρέλαιο, που προκαλούν αδιαβροχοποίηση και επομένως ενισχύουν τις υδρόφοβες ιδιότητες των κόκκων του μεταλλεύματος. Επίσης γίνεται προσθήκη αφριστικών ουσιών (αλκοόλες, σαπούνι) για τη διατήρηση μόνιμου αφρού στην επιφάνεια του αιωρήματος, ώστε να συγκρατούνται οι κόκκοι επάνω στον αφρό και να απομακρύνονται με την υπερχειλίση.

Η μέθοδος της επιπλεύσεως εφαρμόζεται στον εμπλουτισμό όλων σχεδόν των μεταλλευμάτων χαλκού, μολύβδου και ψευδαργύρου. Η άλεση των μεταλλευμάτων γίνεται μέχρι κόκκους μεγέθους 10 έως 500 μm περίπου και η διασπορά τους στο αιώρημα σε αναλογία 15 μέχρι 30%.

8.9 Η διήθηση των υγρών.

8.9.1 Διαύγαση των υγρών.

Οι μέθοδοι διαχωρισμού των στερεών και των υγρών συστατικών των αιωρη-

μάτων που γνωρίσαμε στην προηγούμενη παράγραφο (καθίζηση, φυγοκέντρωση, επίπλευση), δεν είναι συνήθως ικανές να φθάσουν μέχρι τον πλήρη αποχωρισμό του ενός από το άλλο, αλλά δίνουν τα στερεά συστατικά σε μορφή λάσπης, ενώ τα υγρά διαχωρίζονται συχνά σε ελαφρά θολή κατάσταση, επειδή εξακολουθούν να συγκρατούν μια μικρή περιεκτικότητα στερεών. Γι' αυτό, όταν είναι αναγκαίο να προχωρήσει ο διαχωρισμός μέχρι να ληφθεί αφ' ενός συμπαγές στερεό και αφ' ετέρου εντελώς διαυγές υγρό, εφαρμόζονται οι μέθοδοι **διηθήσεως**, όπου το αιώρημα υποχρεώνεται, υπό την επίδραση πίεσεως να περάσει μέσα από ένα φίλτρο ή ένα πορωδες διηθητικό μέσο. Κατά τρόπο ανάλογο με τη λειτουργία των σακκοφίλτρων και των φίλτρων αέρα, που όπως είδαμε χρησιμοποιούνται για την κατακράτηση του κονιορτού, το αιώρημα εγκαταλείπει τα στερεά συστατικά του, σχηματίζοντας ένα **πλακούντα** σε μορφή ηκτού πολτού, ενώ στο διήθημα περνά μόνο το διαυγές υγρό.

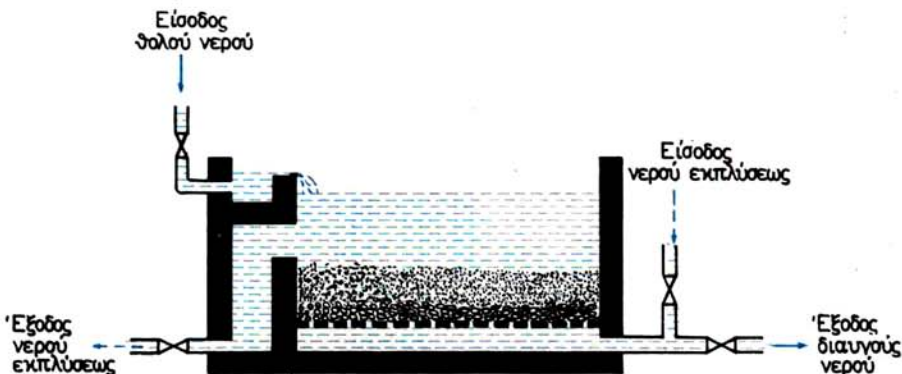
Ο απαιτούμενος χρόνος t για να περάσει μια ποσότητα αιωρήματος $V \text{ m}^3$ από φίλτρο επιφάνειας 1 m^2 , δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$V^2 + aV = \beta t$$

όπου τα a και β είναι σταθερές που εκφράζουν την αντίσταση του φίλτρου στη δίοδο του υγρού και εξαρτώνται από τις ιδιότητες του φίλτρου, του πλακούντα, και των συστατικών του αιωρήματος. Όπως θα δούμε στις ασκήσεις στο τέλος του κεφαλαίου, η παραπάνω σχέση είναι χρήσιμη για την πρόβλεψη του χρόνου διηθήσεως των αιωρημάτων.

8.9.2 Διυλιστήρια νερού.

Επειδή η αντίσταση που παρουσιάζουν τα φίλτρα και οι πλακούντες στη δίοδο των υγρών είναι συχνά αρκετά μεγάλη, η διήθηση προχωρεί συνήθως με απαράδεκτα μικρή ταχύτητα, αν το αιώρημα βρίσκεται υπό την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσεως μόνο και του βάρους της στήλης του. Εξάιρεση, λόγω της μικρής περιεκτικότητας σε αιωρούμενα στερεά και του μεγάλου μεγέθους των πόρων του διηθητικού μέσου, αποτελεί ο καθαρισμός του πόσιμου και του βιομηχανικού νερού με διήθηση σε **διυλιστήρια**, μέσα από στρώματα χαλικιών, άμμου, κωκ κλπ. (σχ. 8.9α).



Σχ. 8.9α.

Διυλιστήριο νερού με στρώματα άμμου και χαλικιών.

Ως διηθητικό μέσο στα διυλιστήρια του νερού χρησιμοποιούνται συνήθως ένα στρώμα άμμου πάχους 70-80 cm και ένα στρώμα χαλικιών πάχους 20-40 cm, που καλύπτουν τον διάτρητο πυθμένα της δεξαμενής. Η στάθμη του νερού είναι συνήθως 1-2 m επάνω από το στρώμα της άμμου και η ταχύτητα της διηθήσεως είναι περίπου 4 έως 10 m³/h ανά m² επιφάνειας της δεξαμενής. Οι κόκκοι του αιωρήματος του θολού νερού που εισάγεται στη δεξαμενή κατακρατούνται στους πόρους του διηθητικού μέσου και το διαυγές νερό συγκεντρώνεται κάτω από το διάτρητο πυθμένα και απομακρύνεται με σωλήνωση. Όταν η βαθμιαία απόφραξη των πόρων φθάσει σε σημείο να δημιουργεί σημαντική αντίσταση στη διήθηση του νερού, συνήθως ύστερα από 20-40 ώρες λειτουργίας του διυλιστηρίου, διακόπτεται η τροφοδότηση και διοχετεύεται νερό με πίεση από κάτω προς τα άνω, που αναμοχλεύει και πλένει τα χαλίκια και την άμμο, παρασύροντας τα αιωρήματα έξω από τη δεξαμενή. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται ο κύκλος λειτουργίας του διυλιστηρίου με κανονική τροφοδοσία της δεξαμενής, μέχρι την επόμενη έκπλυση κλπ.

Το διυλιστήριο νερού αποτελεί, όπως αναφέρθηκε παραπάνω μια ειδική περίπτωση συσκευής διηθήσεως, όχι μόνο επειδή η αντίσταση του διηθητικού μέσου διατηρείται σχετικά μικρή, αλλά επίσης γιατί τα στερεά συστατικά του αιωρήματος (οι ακαθαρσίες του θολού νερού) είναι άχρηστα. Γι' αυτό δεν επιδιώκεται ο διαχωρισμός και η παραλαβή τους, αλλά απορρίπτονται μαζί με τα νερά της εκπλύσεως. Ανάλογη είναι και η περίπτωση του προκαταρκτικού καθαρισμού των νερών που περιέχουν στερεά σώματα μεγάλου σχετικά μεγέθους, όπως π.χ. τα βιομηχανικά και τα αστικά απόβλητα ή τα φυσικά νερά της θάλασσας και των ποταμών. Ο προκαταρκτικός καθαρισμός από τα ξύλα, τα φυτά και τα διάφορα αντικείμενα που επιπλέουν ή παρασύρονται από το νερό, διεξάγεται σε **μεταλλικές εσχάρες** ή **πλέγματα** καθορισμένου ανοίγματος, όπως εκείνα που γνωρίσαμε στα κόσκινα.

Π.χ. στο σχήμα 8.9β μια **μεταλλική εσχάρα** είναι βυθισμένη στο κανάλι παραλαβής των ακαθάρτων νερών μιας εγκαταστάσεως καθαρισμού υγρών βιομηχανικών αποβλήτων για να κατακρατεί τα μεγαλύτερα από τα στερεά αντικείμενα που μεταφέρουν. Στη συνέχεια, τα μικρότερα στερεά, μεγέθους από 2 έως 5 mm, κατακρατούνται στο **φίλτρο μεταλλικού πλέγματος** που βλέπομε αριστερότερα, εμπρός από το χειριστή και πίσω από το προστατευτικό δικτυωτό. Τα φίλτρα αυτά καθαρίζονται συνήθως αυτόματα, με περιοδική κίνηση ενός ξέστρου, που τα απαλλάσσει από όσα στερεά υλικά συγκεντρώνονται στο πλέγμα τους (σχ. 8.9γ).

Το σύνολο της εγκαταστάσεως καθαρισμού των βιομηχανικών αποβλήτων, όπου είναι εγκαταστημένη η εσχάρα και το φίλτρο του σχήματος 8.9β, φαίνεται στη φωτογραφία του σχήματος 8.9δ. Τα ακάθαρτα νερά οδηγούνται, ύστερα από τον προκαθαρισμό, στη δεξαμενή καθίζσεως και παχύνσεως, από τον πυθμένα της οποίας αντλείται η λάσπη με το ίζημα, μέσω των 3 αντλιών που βλέπομε στο κέντρο της φωτογραφίας, και αποθηκεύεται στα 2 σιλό στο αριστερό της μέρος. Το διαυγές νερό υπερχειλίζει στο περιφερειακό αυλάκι της δεξαμενής και ξαναχρησιμοποιείται ή αποχύνεται στη θάλασσα ή σε ποταμό, χωρίς να τους προκαλεί ρύπανση. Αν τα ακάθαρτα νερά περιέχουν διαλυμένες τοξικές, έγχρωμες ή δύσοσμες

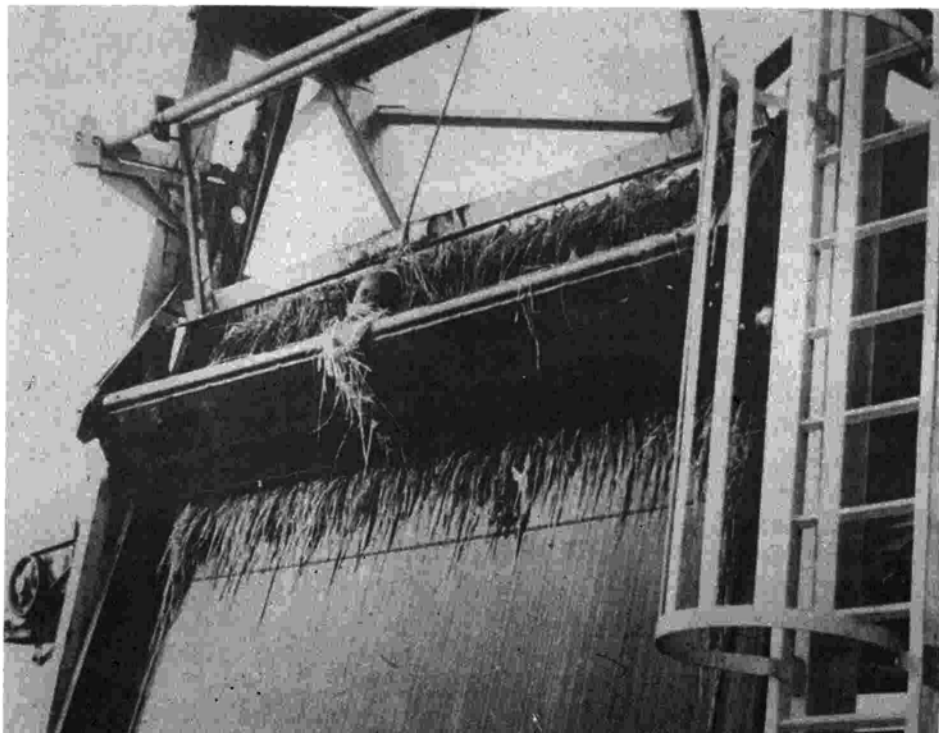
Σχ. 8.9γ.

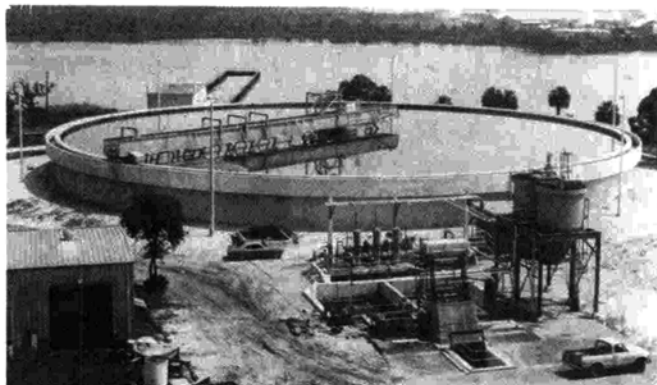
Το ξέστρο ενός αυτοκαθαριζόμενου φίλτρου απομακρύνει τα φύκια που συγκρατήθηκαν στο μεταλλικό πλέγμα κατά τη διήθηση θαλασσινού νερού.



Σχ. 8.9β.

Μεταλλική εσχάρα και φίλτρο μεταλλικού πλέγματος σε μία εγκατάσταση καθαρισμού βιομηχανικών αποβλήτων.





Σχ. 8.96.

Συνδυασμός εσχάρας, φίλτρου και παχυντή για τον καθαρισμό βιομηχανικών αποβλήτων.

ουσίες, ο παραπάνω φυσικός καθαρισμός συνοδεύεται με την ανάλογη χημική επεξεργασία.

8.9.3 Διήθηση με πίεση.

Συχνότερη είναι η διήθηση των αιωρημάτων μέσω υφασμάτων φίλτρων από ίνες μπαμπακιού ή πολυμερών υλικών. Αν δεν απαιτείται σημαντική μηχανική αντοχή κατά τη διήθηση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και φίλτρα από χαρτί. Για ειδικές εφαρμογές κατασκευάζονται επίσης φίλτρα από πορώδη κεραμικά υλικά ή λεπτά μεταλλικά πλέγματα.

Κατά κανόνα οι βιομηχανικές διηθήσεις επιτυγχάνονται με την εξάσκηση πίεσης στην πλευρά του αιωρήματος ή τη δημιουργία κενού στην πλευρά του διηθήματος, ώστε να υπερνικηθεί η αντίσταση του φίλτρου και να διευκολυνθεί η διόδος του υγρού. Είναι πάντως αξιοσημείωτο ότι η αντίσταση αυτή δεν εξαρτάται από τη σύσταση και τους πόρους του φίλτρου, αλλά από τη συνεκτικότητα και την υφή του πλακούντα, που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της διηθήσεως από την απόθεση των στερεών συστατικών του αιωρήματος. Δηλαδή το φίλτρο είναι απλώς ο φορέας για την ανάπτυξη του πλακούντα, ο οποίος αποτελεί τελικά το ουσιαστικό διηθητικό μέσο. Άλλωστε κατά την έναρξη της διηθήσεως, το διήθημα διέρχεται συνήθως θολό, μέχρι να αποκτήσει ο πλακούντας ένα ελάχιστο πάχος.

Η επιλογή του υλικού κατασκευής του φίλτρου γίνεται ανάλογα με τις ιδιότητες του αιωρήματος και τις συνθήκες της διηθήσεως, ώστε να αντέχει στην πίεση, τη φθορά, τις χημικές επιδράσεις, τη θερμοκρασία κλπ. Σοβαρό κριτήριο στην επιλογή του φίλτρου αποτελεί βέβαια και το κόστος του. Στον πίνακα 8.9.1 δίνονται οι αντοχές σε χημικό περιβάλλον και στη θερμοότητα για πέντε συνηθισμένα υλικά κατασκευής βιομηχανικών φίλτρων.

8.9.4 Φιλτρόπρεσες.

Η σημαντικότερη συσκευή, που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για τη διεξα-

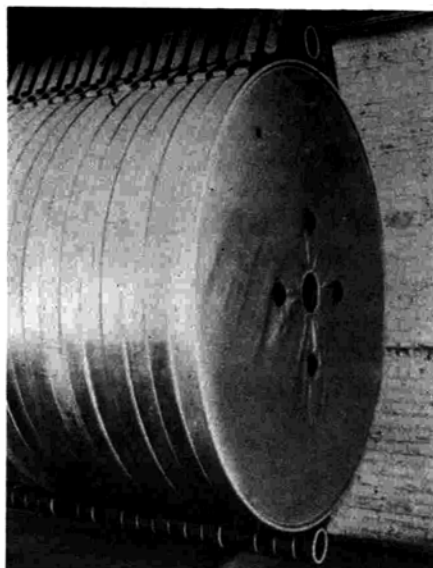
ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9.1.
Χημική και θερμική αντοχή πέντε από τα κυριότερα είδη βιομηχανικών φίλτρων

Υλικό κατασκευής	Αντοχή σε οξέα	Αντοχή σε βάσεις	Αντοχή σε οξειδωτικά μέσα	Ανώτατη επιτρεπόμενη θερμοκρασία
Μπαμπάκι	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΜΕΓΑΛΗ	98°C
Νάυλον	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΙΚΡΗ	105°C
Πολυαιθυλένιο	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	75°C
Πολυεστέρες	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΜΕΓΑΛΗ	150°C
Πολυπροπυλένιο	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΕΓΑΛΗ	120°C


Σχ. 8.9ε.

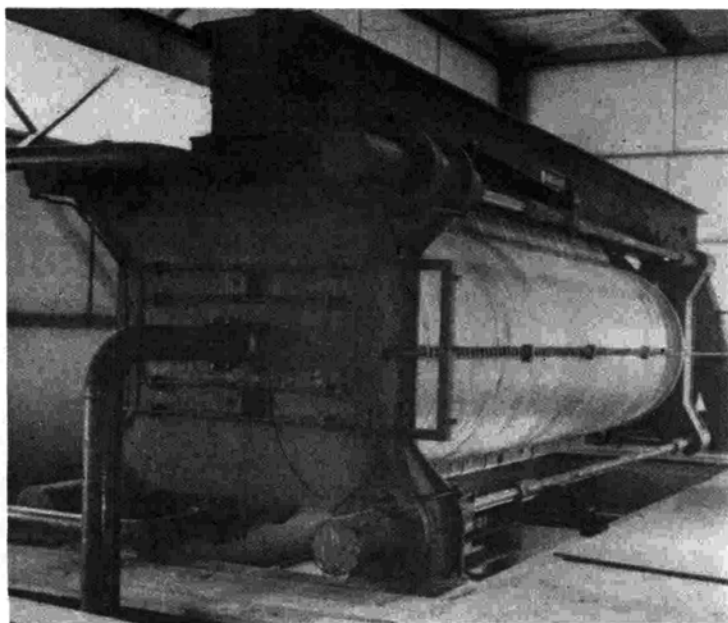
Τετραγωνική πλάκα φιλτροπρέσσας. Η τροφοδοσία του αιωρήματος γίνεται από το κεντρικό στόμιο και η απομάκρυνση του διαυγούς διηθήματος από τα στόμια στις 4 κορυφές του πλαισίου.

γωγή διηθήσεων με εξάσκηση πίεσεως, είναι η **φιλτροπρέσσα**. Αποτελείται από μια σειρά διατρήτων τετραγωνικών ή κυκλικών πλακών με ραβδώσεις ή μεταλλικά πλέγματα στις δύο όψεις (σχ. 8.9ε), επάνω στις οποίες τοποθετούνται υφασμάτινα φίλτρα (**φιλτρόπανα**), αφήνοντας κενά στο κέντρο και στα σημεία επαφής των πλακών (σχ. 8.9στ). Το μήκος της πλευράς των τετραγωνικών πλακών ή η διάμετρος των κυκλικών πλακών κυμαίνεται από 10 μέχρι 180 cm περίπου και το πάχος τους από 0,5 μέχρι 20 cm περίπου, ανάλογα με τη διηθητική ικανότητα της φιλτροπρέσας. Οι πλάκες αναρτούνται σε μεταλλικούς οδηγούς και συσφίγγονται μεταξύ τους ισχυρά, ώστε τα πλαίσιά τους να αποκτήσουν στεγανότητα.



Σχ. 8.9στ.

Κυκλικές πλάκες φιλτροπρέσσας καλυμμένες με φιλτρόπανο, επάνω στα οποία αποτίθεται το στερεό αιώρημα και σχηματίζει τον πλακούντα.



Σχ. 8.9ζ.

Φιλτροπρέσσα με κυκλικές πλάκες. Το αιώρημα εισάγεται από την κεντρική σωληνώση και το διήθημα εξέρχεται από τις μικρότερες σωληνώσεις στο άνω και κάτω μέρος.

Το αιώρημα τροφοδοτείται, με πίεση 10 at περίπου, στο κέντρο συνήθως των πλακών, γεμίζει τους χώρους μεταξύ των φιλτρόπανων και δημιουργεί επάνω τους πλακούντα, ενώ το διαυγές διήθημα περνά στο εσωτερικό της πλάκας και εγκαταλείπει τη φιλτροπρέσσα από αγωγούς που σχηματίζουν κατάλληλα στόμια στο πλαίσιο των πλακών. Στο σχήμα 8.9ζ βλέπουμε συναρμολογημένη μια φιλτροπρέσα κυκλικών πλακών, με τις σωληνώσεις τροφοδοσίας του αιωρήματος και παραλαβής του διαυγούς διηθήματος.

Η ταχύτητα διηθήσεως των αιωρημάτων στις φιλτροπρέσες εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες του υγρού. Τα λεπτόρρευστα υγρά διέρχονται ταχύτερα από το φίλτρο και τον πλακούντα από όσο τα σχετικά παχύρρευστα υγρά. Οι μέσες παροχές διηθήσεως ορισμένων αιωρημάτων σε βιομηχανικές φιλτροπρέσες, δίνονται στον πίνακα 8.9.2, ανάλογα με το είδος και τη σύσταση του υγρού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.9.2.

*Μέση παροχή κατά τη διήθηση διαφόρων αιωρημάτων σε φιλτροπρέσες
(ανά m² επιφάνειας φιλτρόπανου)*

Υδατικά διαλύματα αλάτων	4,0 m ³ /m ² h
Λιπαντικά έλαια	1,5 m ³ /m ² h
Σακχαρούχοι χυμοί της βιομηχανίας παραγωγής ζάχαρης	0,5 m ³ /m ² h
Χυμοί φρούτων	0,4 m ³ /m ² h
Ελαιόλαδα	0,2 m ³ /m ² h

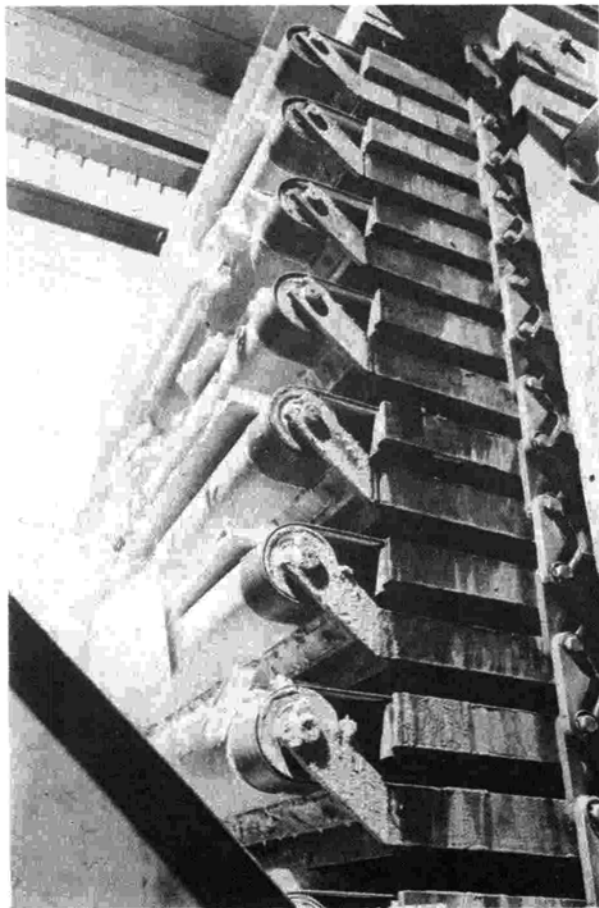
Οι φιλτροπρέσες είναι συσκευές ασυνεχούς λειτουργίας. Όταν ο κενός χώρος μεταξύ των πλακών γεμίσει με πλακούντα, διακόπεται η τροφοδοσία, αποσυναρμολογούνται οι πλάκες και συλλέγονται οι πλακουντες από τα φιλτρόπανα. Οι μεγάλων διαστάσεων φιλτροπρέσες, όπως του σχήματος 8.9η, έχουν ικανότητα παραγωγής μέχρι 20 m³ πλακούντα ανά κύκλο λειτουργίας.



Σχ. 8.9η.

Ένας από τους μεγαλύτερους τύπους φιλτροπρέσας με τετραγωνικές πλάκες, κατά τα στάδια της συναρμολογήσεώς της. Η σύνδεση των σωληνώσεων απομακρύνσεως του διηθήματος δεν έχει ακόμα συμπληρωθεί και διακρίνονται στο κάτω αριστερά μέρος τα ανοικτά άκρα με τις φλάντζες.

Εκτός από τις φιλτροπρέσσες, που παρουσιάζουν το μειονέκτημα της ασυνεχούς λειτουργίας, έχουν επινοηθεί και άλλοι πλεονεκτικότεροι τύποι **φίλτρων πίεσεως συνεχούς λειτουργίας**. Το φίλτρο π.χ. του σχήματος 8.9θ αποτελείται επίσης από πλάκες, όπως της φιλτροπρέσσας, οι οποίες όμως είναι τοποθετημένες κατακόρυφα ή μία επάνω στην άλλη και τα φιλτρόπανα σχηματίζουν μια συνεχή ταινία, που κινείται διατρέχοντας τις επιφάνειες όλων των πλακών. Καθώς η ταινία - φίλτρο αναδιπλώνεται για να περάσει από τη μια πλάκα στην επόμενη, ο πλακούντας ξεκολλάει και πέφτει σε ένα σιλό συλλογής του στη βάση του φίλτρου.



Σχ. 8.9θ.

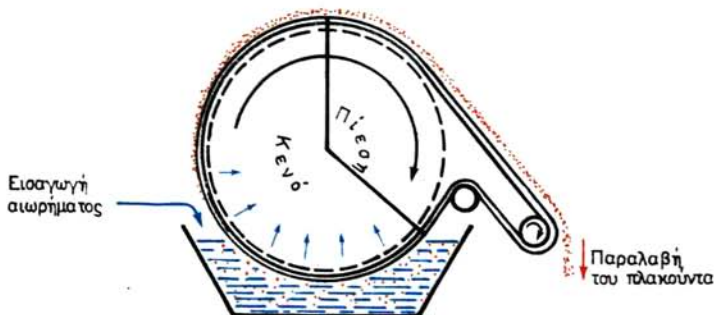
Φίλτρο πίεσεως συνεχούς λειτουργίας. Ο πλακούντας αποσπάται από την επιφάνεια του φίλτρου κατά την αναδίπλωσή του, καθώς εξέρχεται από τις πλάκες.

8.9.5 Φίλτρα κενού.

Συνεχούς επίσης λειτουργίας είναι συνήθως τα **φίλτρα κενού**, στα οποία δημιουργείται υποπίεση στην πλευρά του διηθήματος, ώστε να εξασκείται στο αιώρημα η διαφορά πίεσεως μεταξύ της ατμοσφαιρικής και της υποπίεσεως. Οι κυριό-

τεροι τύποι φίλτρων κενού είναι το **φίλτρο τυμπάνων** και το **φίλτρο οριζόντιας κινητής ταινίας**.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 8.9ι, το **φίλτρο τυμπάνου** αποτελείται από ένα διάτρητο κυλινδρικό δοχείο, διαμέτρου 30 cm έως 3 m και μήκους 40 cm έως 4 m, σχήματος τυμπάνου, που είναι κατά ένα μέρος βυθισμένο στο αιώρημα και περιστρέφεται με αργό ρυθμό, εκτελώντας 1 έως 2 στροφές περίπου ανά λεπτό. Η διάτρητη κυλινδρική επιφάνεια του τυμπάνου καλύπτεται από ένα μεταλλικό πλέγμα, στο οποίο προσαρμόζεται το υφασμάτινο φίλτρο της διήθησεως. Ένας μεγάλος τομέας του εσωτερικού χώρου του τυμπάνου συνδέεται με μία αντλία κενού, με αποτέλεσμα να αναρροφάται το υγρό από το αιώρημα, ενώ τα στερεά συστατικά του συγκρατούνται επάνω στο φίλτρο και σχηματίζουν τον πλακούντα. Ακολουθώντας την περιστροφή του τυμπάνου, το φίλτρο με τον πλακούντα ανέρχεται έξω από τη λεκάνη που περιέχει το αιώρημα και κατά τη διαδρομή του στον τομέα που βρίσκεται υπό κενό απαλλάσσεται από τα υπολείμματα του υγρού που συγκρατούσε. Με τον τρόπο αυτό, ο πλακούντας στραγγίζει, και στον επόμενο τομέα του τυμπάνου, όπου διαβιβάζεται προς τα έξω αέρας με πίεση, αποκολλάται από το φίλτρο και συλλέγεται. Η απόσπαση του πλακούντα από το φίλτρο διευκολύνεται με τη χρησιμοποίηση ξέστρου ή την αναδίπλωση του φίλτρου γύρω από ένα κυλινδρικό άξονα.

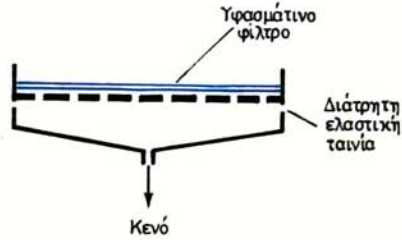


Σχ. 8.9ι.

Περιστροφικό φίλτρο κενού. Το διήθημα από το αιώρημα της σκάφης αναρροφάται στο εσωτερικό του τυμπάνου και τα στερεά συστατικά του προσκολλούνται στο φίλτρο σχηματίζοντας πλακούντα.

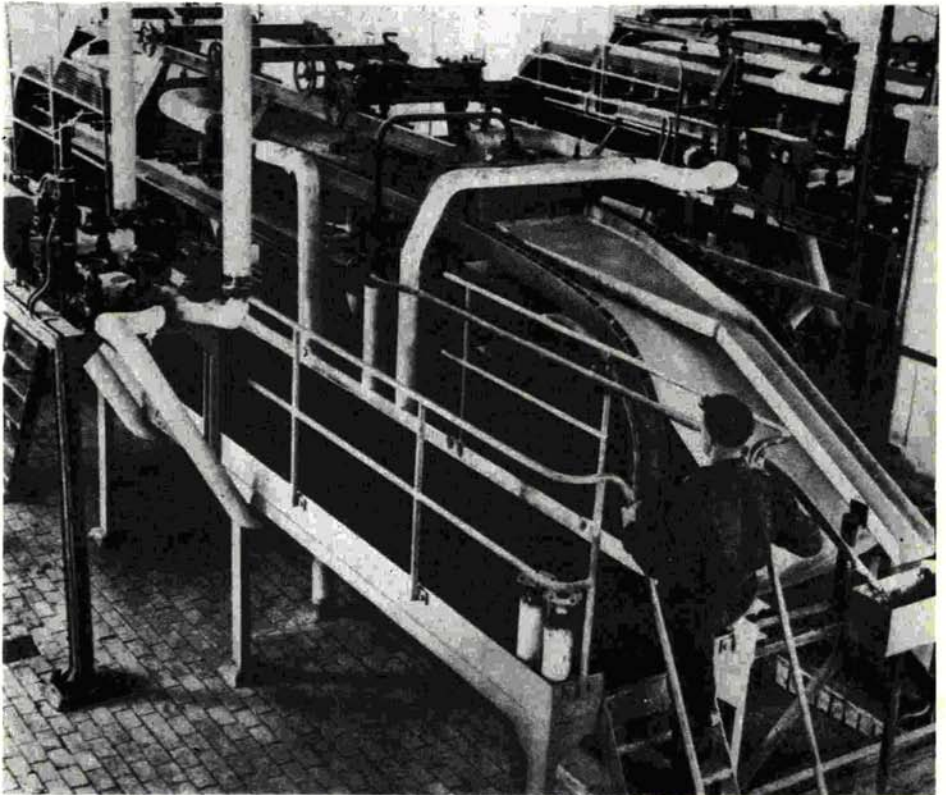
Με όμοια περίπου μέθοδο λειτουργεί και το **φίλτρο οριζόντιας κινητής ταινίας**. Το υφασμάτινο φίλτρο αποτελεί μία συνεχή ταινία, όπως στην περίπτωση του φίλτρου πίεσεως του σχήματος 8.9θ, και τοποθετείται σε μια διάτρητη ελαστική ταινία, σχήματος ρηχής σκάφης, το κάτω μέρος της οποίας συνδέεται με ένα σύστημα κενού (σχ. 8.9ια). Η ελαστική ταινία κινείται με μικρή ταχύτητα και σε όλο το μήκος της οριζόντιας διαδρομής της βρίσκεται υπό την επίδραση του κενού. Το αιώρημα, σε πυκνή συνήθως μορφή, τροφοδοτείται επάνω στην ταινία, στην αρχή της οριζόντιας διαδρομής και μέχρι να φθάσει στο τέλος της έχει απαλλαγεί από το περιεχόμενο υγρό, που αναρροφάται από το κενό. Στη θέση αυτή γίνεται και η απόσπαση του πλακούντα με τη βοήθεια ενός ξέστρου (σχ. 8.9ιβ), ενώ η ελαστική ται-

νία και το υφασμάτινο φίλτρο συνεχίζουν τη διαδρομή τους επιστρέφοντας στο σημείο τροφοδοσίας του αιωρήματος.



Σχ. 8.9α.

Εγκάρσια τομή του οριζόντιου φίλτρου κινητής ταινίας



Σχ. 8.9β.

Οριζόντιο φίλτρο κενού κινητής ταινίας σε εργοστάσιο παραγωγής χημικών λιπασμάτων, με επιφάνεια αναρροφήσεως 6 m^2 . Η τροφοδότηση του πυκνού αιωρήματος, σε μορφή πολτού, γίνεται στο πίσω αριστερά και η παραλαβή του πλακούντα στο εμπρός δεξιά μέρος της ταινίας.

8.10 Εκχύλιση.

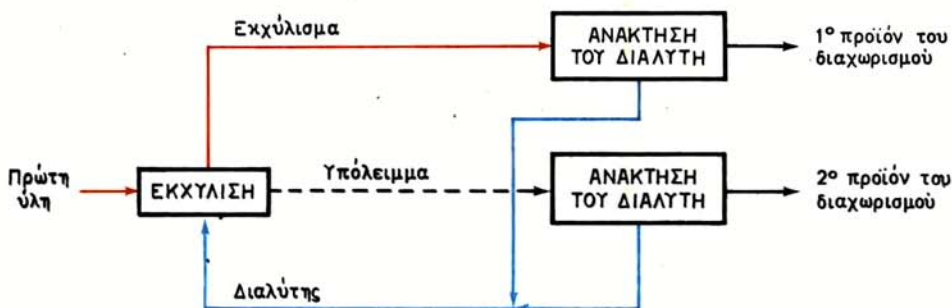
8.10.1 Εκχύλιμα και υπόλειμμα.

Αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ότι ο διαχωρισμός των μιγμάτων στα συστατικά τους μπορεί να διεξαχθεί με τη μεσολάβηση διαχωριστικών ουσιών. Γνωρίσαμε ήδη στο κεφάλαιο 7 τη χρησιμοποίηση στερεών, όπως ο ενεργός άνθρακας, και υγρών διαχωριστικών ουσιών, όπως το νερό, για το διαχωρισμό αερίων μιγμάτων. Με ανάλογο τρόπο, για το διαχωρισμό στερεών ή υγρών συστατικών από πρώτες ύλες, στις οποίες βρίσκονται σε μίγμα, χρησιμοποιούνται συχνά υγρές διαχωριστικές ουσίες, οι **διαλύτες**, που διαλύουν και αποσπούν εκλεκτικά ένα ή περισσότερα συστατικά από το μίγμα. Η μέθοδος αυτή διαχωρισμού ονομάζεται **εκχύλιση**. Ειδικότερα, όταν η διαχωριστική ουσία είναι το νερό, η αντίστοιχη διεργασία ονομάζεται **έκπλυση**.

Όπως θα δούμε παρακάτω, η εκχύλιση εφαρμόζεται όχι μόνο για το διαχωρισμό στερεών από υγρά, αλλά επίσης για διαχωρισμούς υγρών από υγρά και αδιάλυτων στερεών από ευδιάλυτα στερεά. Επειδή όμως εφαρμόζεται κυρίως για το διαχωρισμό στερεών από υγρά, θα την εξετάσουμε ενιαία σ' αυτό το κεφάλαιο.

Η ανάμιξη της πρώτης ύλης (συνήθως στερεής, αλλά ενδεχομένως και υγρής) με το διαλύτη, κατά τη διεξαγωγή της εκχυλίσεως, οδηγεί στην παραλαβή δύο χωριστών προϊόντων. Το διάλυμα που σχηματίζει ο διαλύτης με τα διαλυτά συστατικά της πρώτης ύλης ονομάζεται **εκχύλιμα**, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα της πρώτης ύλης, ύστερα από την απομάκρυνση των διαλυτών συστατικών της, αποτελεί το **υπόλειμμα** της εκχυλίσεως. Στη συνέχεια το εκχύλιμα υποβάλλεται σε νέο διαχωρισμό με σκοπό την παραλαβή των συστατικών της πρώτης ύλης σε καθαρή μορφή, ενώ ο διαλύτης ανακτάται και ξαναχρησιμοποιείται στην εκχύλιση. Συχνά γίνεται ανάκτηση και της μικρής ποσότητας του διαλύτη που κατακρατείται στο υπόλειμμα της εκχυλίσεως, ώστε τελικά να ανακυκλώνεται στην εγκατάσταση το σύνολο του διαλύτη που χρησιμοποιείται στην εκχύλιση (σχ. 8.10α).

Απαραίτητες προϋποθέσεις για την πληρέστερη δυνατή παραλαβή των διαλυτών συστατικών της πρώτης ύλης είναι η εξασφάλιση καλής ανάμιξής της με το διαλύτη επί αρκετό χρονικό διάστημα και σε εύνοικη θερμοκρασία.



Σχ. 8.10α.

Ανάκτηση του διαλύτη από το εκχύλιμα και το υπόλειμμα της εκχυλίσεως και επαναχρησιμοποίησή του (ανακύκλωση) στην εκχύλιση της πρώτης ύλης.

8.10.2 Εκχυλιστικές μέθοδοι.

Στη βιομηχανία η εκχύλιση διεξάγεται συνήθως σύμφωνα με μια από τις παρακάτω τρεις μεθόδους, με επιδίωξη το διαχωρισμό του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού διαλυτών συστατικών από την πρώτη ύλη και την κατανάλωση της μικρότερης ποσότητας διαλύτη, ώστε να είναι εύκολη και οικονομική η τελική ανάκτηση του διαλυμένου συστατικού από το εκχύλισμα και η ανακύκλωση του διαλύτη. Η απλούστερη μέθοδος είναι η **εκχύλιση απλής επαφής** σε μια βαθμίδα. Η υγρή ή στερεή πρώτη ύλη έρχονται σε στενή επαφή με το διαλύτη σε ένα αναμικτήρα (δοχείο, πύργο ή άλλη ειδική συσκευή) και κατόπιν διαχωρίζονται, στην ίδια ή σε άλλη συσκευή, το εκχύλισμα από το υπόλειμμα της εκχυλίσεως. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει συνήθως μικρό βαθμό διαχωρισμού στα συστατικά της πρώτης ύλης και απαιτεί σχετικά μεγάλη ποσότητα διαλύτη, γι' αυτό εφαρμόζεται σπανιότερα από τις μεθόδους πολυβάθμιας επαφής (σχ. 8.10β).

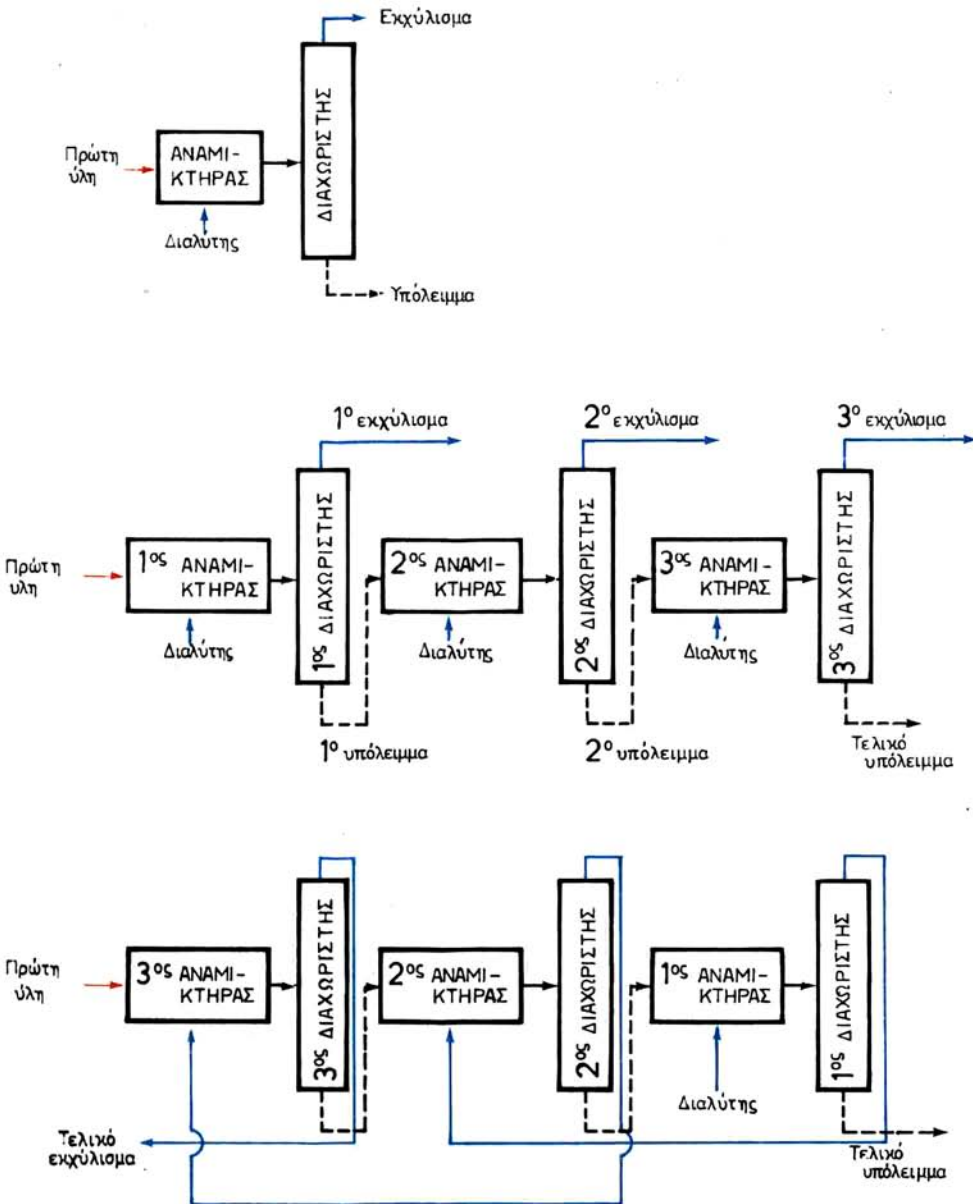
Στην **απλή πολυβάθμια επαφή**, η ποσότητα του διαλύτη κατανέμεται σε περισσότερους αναμικτήρες, από τους οποίους διέρχεται διαδοχικά η πρώτη ύλη. Το υπόλειμμα της εκχυλίσεως του πρώτου αναμικτήρα αποτελεί την πρώτη ύλη για τον αναμικτήρα της δεύτερης βαθμίδας, το υπόλειμμα της εκχυλίσεως του δεύτερου αναμικτήρα αποτελεί την πρώτη ύλη για την τρίτη βαθμίδα κλπ. Τα εκχυλίσματα των διαδοχικών βαθμίδων έχουν διαφορετική σύσταση και η ανάκτηση των συστατικών τους διεξάγεται στη συνέχεια είτε στο καθένα χωριστά είτε σε όλα μαζί, μετά τη συνένωσή τους. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται καλός διαχωρισμός στα συστατικά της πρώτης ύλης με πλήρη διαλυτοποίηση των διαλυτών συστατικών της, αλλά η ποσότητα του απαιτούμενου διαλύτη εξακολουθεί να είναι μεγάλη.

Πλεονεκτικότερη είναι η μέθοδος της **πολυβάθμιας επαφής αντιρροής**, όπου η πρώτη ύλη και ο διαλύτης εισάγονται στα δύο αντίθετα άκρα της εγκαταστάσεως (σχ. 8.10β). Ο πρώτος αναμικτήρας στην πορεία του διαλύτη είναι ο τελευταίος στην πορεία της πρώτης ύλης και το εκχύλισμα της κάθε βαθμίδας αποτελεί το διαλύτη για την επόμενη βαθμίδα, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα τελικό εκχύλισμα με πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυμένα συστατικά.

Ο διαχωρισμός του εκχυλίσματος από το υπόλειμμα της εκχυλίσεως διεξάγεται συνήθως χωρίς δυσκολία στην ίδια συσκευή, όπου γίνεται η ανάμιξη της πρώτης ύλης και του διαλύτη. Όταν η πρώτη ύλη είναι υγρή, ο διαχωρισμός αυτός στηρίζεται στη μη αναμιξιμότητα και στη διαφορετική πυκνότητα μεταξύ εκχυλίσματος και υπολείμματος, που έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό δύο χωριστών υγρών στιβάδων. Η παραλαβή της στιβάδας του βαρύτερου υγρού από το κάτω μέρος της συσκευής και του ελαφρότερου υγρού από το άνω μέρος της, είναι μία εύκολη εργασία. Επίσης εύκολος είναι ο διαχωρισμός του εκχυλίσματος από το στερεό υπόλειμμα της εκχυλίσεως, όταν η πρώτη ύλη είναι στερεή. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται μία από τις γνωστές μεθόδους διαχωρισμού στερεών από υγρά, που συναντήσαμε στις προηγούμενες παραγράφους (καθίζηση, φυγοκέντριση, διήθηση κλπ.) ή άλλη ειδικότερη διεργασία.

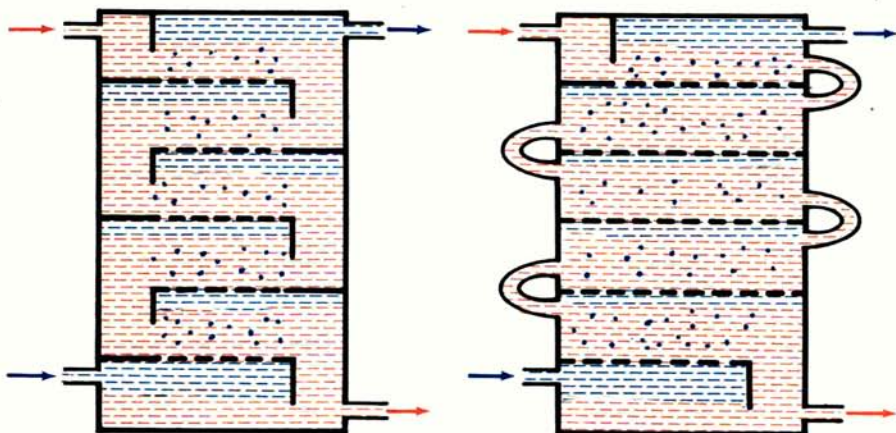
8.10.3 Εκχύλιση υγρών σε πύργους.

Η απλούστερη συσκευή εκχυλίσεως υγρής πρώτης ύλης είναι ο **πύργος με διά-**



Σχ. 8.10β.

Διαγράμματα των μεθόδων εκχύλισης απλής επαφής (επάνω), απλής πολυβάθμιας επαφής (στη μέση) και πολυβάθμιας επαφής αντιρροής (κάτω).



Σχ. 8.10γ.

Πύργοι εκχυλίσεως με διάτρητους δίσκους.

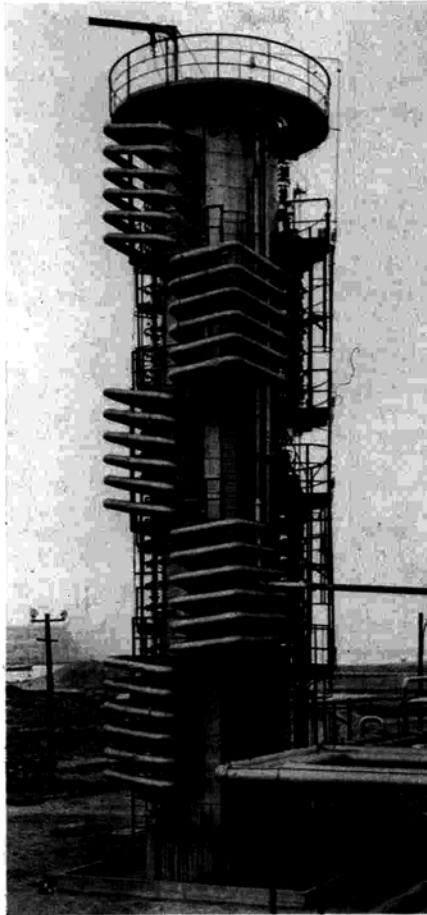
Αριστερά, η κάθοδος του βαρύτερου υγρού γίνεται εσωτερικά στον πύργο και δεξιά με εξωτερικές σωληνώσεις.

σειρά από διάτρητους δίσκους (σχ. 8.10γ). Το ελαφρότερο από τα δύο υγρά εισάγεται στη βάση του πύργου, περνά από τα ανοίγματα των διατρήτων δίσκων και ανέρχεται προς την κορυφή του πύργου, σε μορφή φυσαλίδων μέσα στη μάζα του βαρύτερου υγρού. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ικανοποιητική ανάμιξη του διαλύτη, ο οποίος στη διαδρομή του κατά μήκος του πύργου μετατρέπεται σε εκχύλισμα, και της πρώτης ύλης, που μετατρέπεται αντίστοιχα σε υπολείμμα της εκχυλίσεως. Πρόκειται δηλαδή για εφαρμογή της μεθόδου πολυβάθμιας επαφής αντιρροής που αναφέρθηκε παραπάνω. Στη φωτογραφία του σχήματος 8.10δ βλέπουμε έναν πύργο με 30 διάτρητους δίσκους, δηλαδή 30 βαθμίδες εκχυλίσεως, που συγκοινωνούν με εξωτερικές σωληνώσεις.

Η ανάμιξη πρώτης ύλης και διαλύτη και ο διαχωρισμός εκχυλίσματος και υπολείμματος της εκχυλίσεως, μπορεί επίσης να διεξαχθεί σε δοχεία αναδεύσεως, όπως του σχήματος 7.3α. Η τροφοδοσία και η παραλαβή των υγρών γίνεται και εδώ, ανάλογα με την πυκνότητά τους, από τον πυθμένα ή το άνω μέρος δοχείου ή, ακόμη, μέσα από τον άξονα του αναδευτήρα. Με τον κατάλληλο συνδυασμό δοχείων αναδεύσεως, ή συνηθέστερα με τη διαίρεση μιας μεγάλης δεξαμενής σε χωριστά διαμερίσματα (σχ. 8.10ε), δημιουργείται ένα οριζόντιο σύστημα αναμίξεως και κυκλοφορίας των διαφόρων υγρών κατ' αντιρροή, ανάλογο με την κατακόρυφη κίνηση στους πύργους με διάτρητους δίσκους.

8.10.4 Φυγοκεντρικός εκχυλιστήρας υγρών.

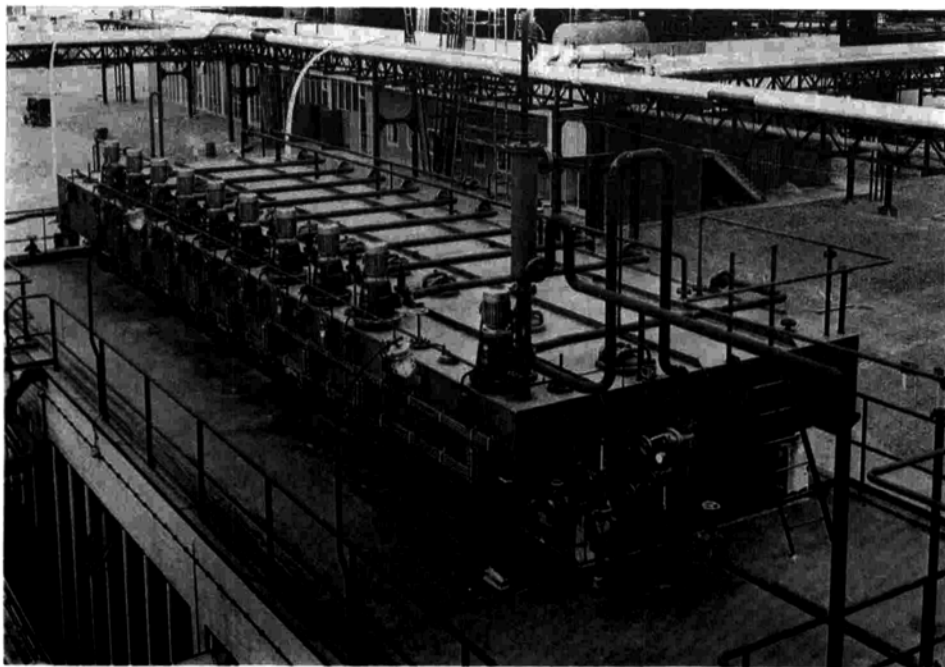
Σε διαφορετική αρχή στηρίζεται η λειτουργία του **φυγοκεντρικού εκχυλιστήρα**, που χρησιμοποιείται κυρίως όταν η διαφορά της πυκνότητας μεταξύ του διαλύτη και της πρώτης ύλης ή του εκχυλίσματος και του υπολείμματος της εκχυλίσεως, είναι σχετικά μικρή. Στην περίπτωση αυτή δεν επαρκεί η δύναμη της βαρύτητας για



Σχ. 8.106.

Πύργος εκχυλίσεως με διάτρητους δίσκους και εξωτερική κυκλοφορία του βαρύτερου υγρού.

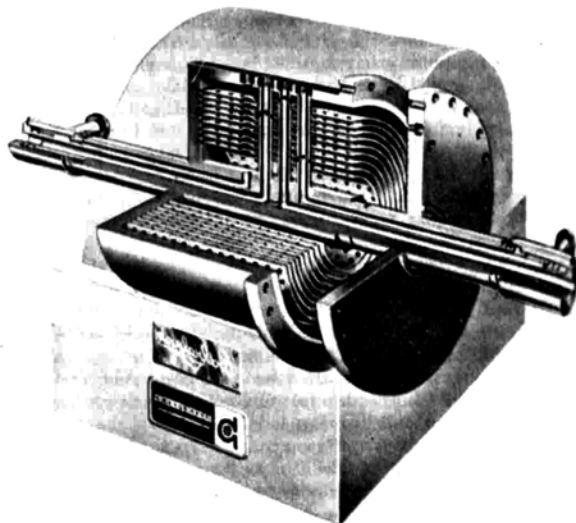
το σαφή διαχωρισμό των στιβάδων, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται γαλάκτωμα μεταξύ των υγρών. Ο φυγοκεντρικός εκχυλιστήρας αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, που περικλείει ένα μεγάλο αριθμό από συγκεντρικούς διάτρητους κυλίνδρους (σχ. 8.10στ). Η υγρή πρώτη ύλη και ο διαλύτης τροφοδοτούνται συνεχώς σε χωριστές σωληνώσεις στη μία πλευρά του άξονα περιστροφής του εκχυλιστήρα. Το ελαφρότερο υγρό διοχετεύεται στην περιφέρεια του τυμπάνου και το βαρύτερο στον εσωτερικό διάτρητο κύλινδρο. Η φυγόκεντρη δύναμη που δημιουργεί η περιστροφή του εκχυλιστήρα είναι πολλές χιλιάδες φορές ισχυρότερη από τη δύναμη της βαρύτητας και εκτοπίζει το βαρύτερο υγρό μέσα από τα ανοίγματα των κυλίνδρων προς την περιφέρεια του τυμπάνου, ενώ το ελαφρότερο υγρό προωθείται προς το εσωτερικό. Η αντίθετη αυτή κίνηση προκαλεί καλή ανάμιξη και εκχύλιση της πρώτης ύλης. Στη συνέχεια το εκχύλισμα και το υπόλειμμα της εκχυλίσεως εγκαταλείπουν τον εκχυλιστήρα από την άλλη πλευρά του άξονα περιστροφής του.



Σχ. 8.10ε.

Οριζόντια εγκατάσταση εκχυλίσσεως 10 βαθμίδων.

Διακρίνονται οι σωληνώσεις και οι ηλεκτροκινητήρες των αναδευτήρων, που αναμιγνύουν τα υγρά στα 10 διαμερίσματα και συγχρόνως αντλούν το βαρύτερο υγρό προς το γειτονικό διαμέρισμα. Το ελαφρύτερο υγρό υπερχειλίζει κατ' αντιστροφή από το ένα διαμέρισμα στο επόμενο. Οι σωληνώσεις της υπερχειλίσσεως βρίσκονται κάτω από τα καλύμματα των διαμερισμάτων και δεν φαίνονται στη φωτογραφία. Η εγκατάσταση εκχυλίζει 600 m³ υγρής πρώτης ύλης την ημέρα.



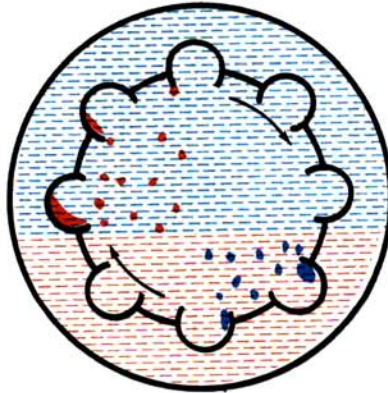
Σχ. 8.10στ.

Φυγοκεντρικός εκχυλιστήρας. Διακρίνονται οι διάτρητοι κύλινδροι του τυμπάνου και οι αξονικές σωληνώσεις εισαγωγής και απομακρύνσεως των υγρών.

Σημαντικό πλεονέκτημα του φυγοκεντρικού εκχυλιστήρα είναι η μεγάλη ταχύτητα διεξαγωγής της εκχυλίσεως. Για το λόγο αυτό βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στη φαρμακοβιομηχανία για την εκχύλιση ευπαθών σχετικά ουσιών, όπως η πενικιλίνη και τα άλλα αντιβιοτικά φάρμακα. Οι ουσίες αυτές παθαίνουν αλλοίωση, αν παραμείνουν επί μεγάλο χρονικό διάστημα στις συνθήκες της εκχυλίσεως.

8.10.5 Περιτροφικός εκχυλιστήρας υγρών.

Ενδιαφέρον, λόγω της απλότητάς του, παρουσιάζει ο **περιστροφικός εκχυλιστήρας** ασυνεχούς λειτουργίας του σχήματος 8.10ζ. Σε ένα κυλινδρικό δοχείο, πλήρες με την υγρή πρώτη ύλη και το διαλύτη, περιστρέφεται μια δέσμη παραλλήλων ημικυκλικών ελασμάτων, σχήματος σκάφης, με το ανοιχτό μέρος προς τον άξονα του δοχείου. Καθώς τα ημικυκλικά ελάσματα ανέρχονται από τη σιφάδα του βαρύτερου υγρού, που συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος του δοχείου, αποχύνουν το περιεχόμενό τους μέσα στη μάζα του ελαφρότερου υγρού. Συγχρόνως γεμίζουν με το ελαφρότερο υγρό, το οποίο διασκορπίζουν στη συνέχεια στη μάζα του βαρύτερου υγρού, καθώς ξαναβυθίζονται στη σιβάδα του. Τελικά επιτυγχάνεται σχετικά καλή εκχύλιση της πρώτης ύλης, αν η διάρκεια της παραπάνω αναμίξεως είναι αρκετά μεγάλη. Διατηρούνται πάντως τα μειονεκτήματα της εκχυλιστικής μεθόδου απλής επαφής, που αναφέρθηκαν στην αρχή της παραγράφου.

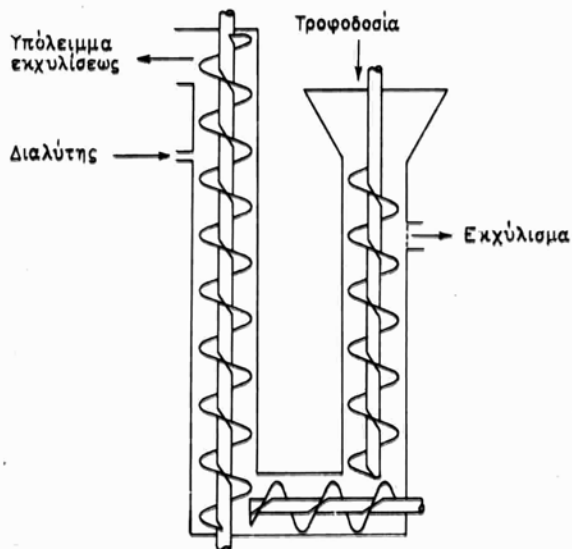


Σχ. 8.10ζ.

Τομή σε κυλινδρικό περιστροφικό εκχυλιστήρα ασυνεχούς λειτουργίας.

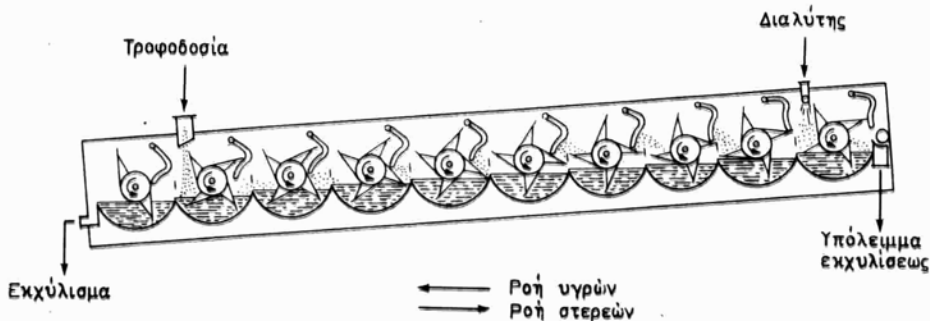
8.10.6 Εκχυλιστήρες στερεών.

Η εκχύλιση στερεών πρώτων υλών διεξάγεται σε βιομηχανικές συσκευές διάφορων τύπων, που εξασφαλίζουν ικανοποιητική ανάμιξη με το διαλύτη. Συνήθως, το στερεό προωθείται δια μέσου της μάζας του διαλύτη ή περιβρέχεται από αυτόν σε διαδοχικές θέσεις, ώστε να διαλυτοποιηθούν και παραληφθούν τα διαλυτά συστατικά του. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται π.χ. αναβατόρια με διάτρητα κουβαδάκια που κινούνται σε δοχεία πλήρη με διαλύτη ή μεταφορικοί κοχλίες που περιστρέφονται σε σωληνώσεις, στις οποίες ρέει ο διαλύτης κατ' αντιστροφή



Σχ. 8.10η.

Εκχύλιση στερεών πρώτων υλών σε σύστημα μεταφορικών κοχλιών.

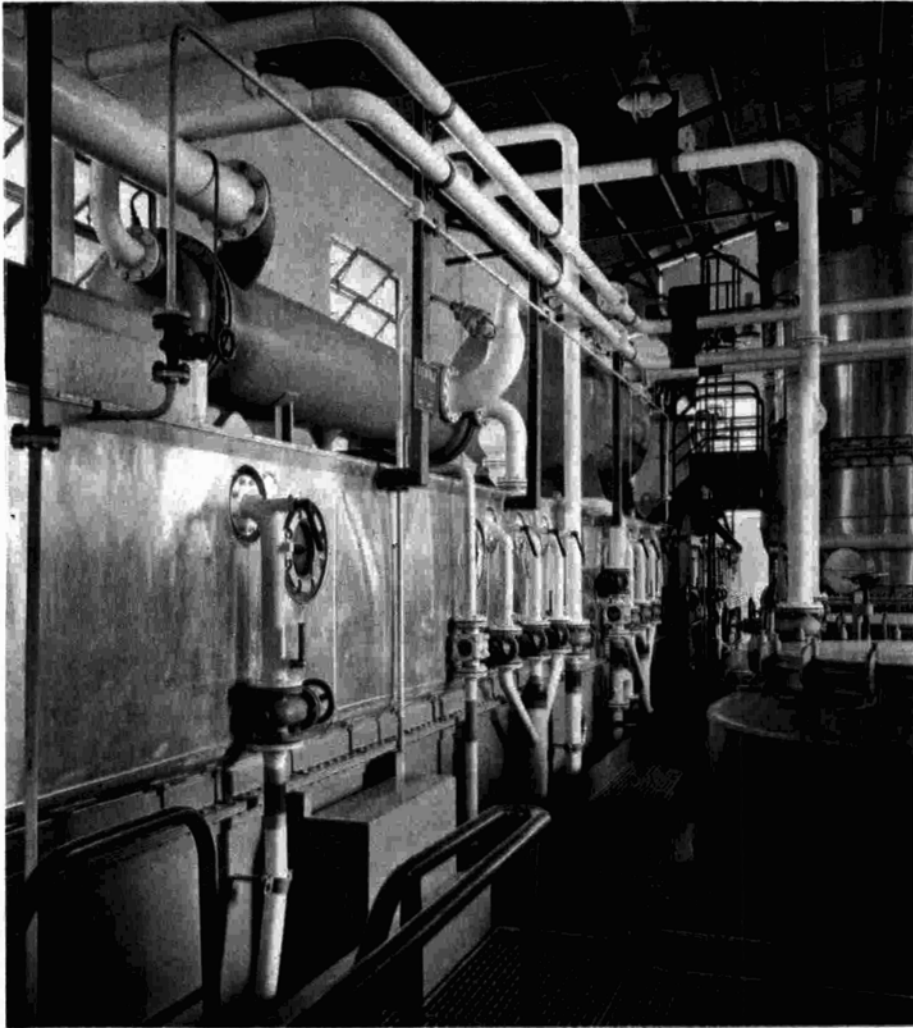


Σχ. 8.10θ.

Οριζόντιος εκχυλιστήρας με περυγιοφόρους άξονες.

(σχ. 8.10η). Το σχήμα 8.10θ δείχνει έναν εκχυλιστήρα, όπου η στερεή πρώτη ύλη μεταφέρεται με περιστρεφόμενους περυγιοφόρους άξονες σε διαδοχικές παράλληλες σκάφες, κατ' αντιρροή προς το διαλύτη που υπερχειλίζει σε αυτές. Χαρακτηριστικό του εκχυλιστήρα είναι το σχετικά μικρό ύψος του, ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί και σε χαμηλούς βιομηχανικούς χώρους.

Στο σχήμα 8.10ι εικονίζεται η εξωτερική όψη ενός εκχυλιστήρα που χρησιμοποιείται για την παραλαβή του βρώσιμου ή του βιομηχανικού λαδιού από τους ελαιούχους σπόρους (μπαμπακόσπορο, σόγια κλπ). Αποτελείται από μια οριζόντια μεταφορική ταινία, που κινείται σε μια στεγανή μεταλλική δεξαμενή γεμάτη με διαλύτη. Οι σπόροι αλέθονται και τροφοδοτούνται στο ένα άκρο της ταινίας. Κατά τη



Σχ. 8.10ι.

Εκχυλιστήρας τύπου μεταφορικής ταινίας, ικανότητας εκχύλισης 400 τόννων ελαιούχων σπόρων την ημέρα. Διακρίνονται στα πλευρά οι σωληνώσεις ανακυκλοφορίας και επάνω στη συσκευή το οριζόντιο δοχείο συγκρατήσεως των ατμών της βενζίνης.

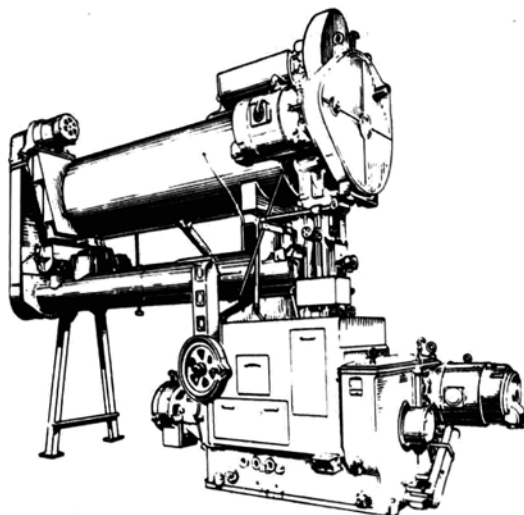
διαδρομή μέχρι το άλλο άκρο συμπληρώνεται η εκχύλιση του λαδιού και τα υπολείμματα των σπόρων απορρίπτονται σε ένα σιλό. Ο διαλύτης, συνήθως βενζίνη, κυκλοφορεί συνεχώς με αντλίες στη δεξαμενή και ευπλουτίζεται σε λάδι.

8.11 Έκθλιψη.

Ένας πολύ συνηθισμένος επίσης τρόπος παραλαβής του λαδιού από τους ελαιούχους σπόρους και, γενικότερα, διαχωρισμού των υγρών που περιέχονται σε στερεές πρώτες ύλες, είναι η **εκθλιψη** τους σε ισχυρά πιεστήρια. Ο τύπος που

χρησιμοποιείται περισσότερο στη βιομηχανία είναι το **κοχλιωτό πιεστήριο** συνεχούς λειτουργίας (σχ. 8.11). Ένας περιστρεφόμενος κοχλίας συμπιέζει τους σπόρους επάνω στο κωνικό τοίχωμα του στομίου εξαγωγής του πιεστηρίου και προκαλεί την αποβολή και τον αποχωρισμό του λαδιού από το στερεό υπόλειμμα. Σε άλλους τύπους πιεστηρίων, η συμπύεση της πρώτης ύλης γίνεται μεταξύ κυλίνδρων ή πλακών με τη βοήθεια μηχανικών ή υδραυλικών συστημάτων.

Σε σύγκριση με τις μεθόδους εκχυλίσσεως, η έκθλιψη παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι η παραλαβή του λαδιού είναι λιγότερο πλήρης και παραμένει στο στερεό υπόλειμμα, την πίττα, σε περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 2% μέχρι 18%. Αυτό όμως προσδίνει μεγάλη θρεπτική αξία στην πίττα, ώστε μαζί με τα άλλα της συστατικά να αποτελεί πολύτιμη ζωτροφή.



Σχ. 8.11.

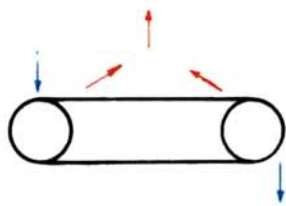
Κοχλιωτό πιεστήριο εκθλίψεως ελαιούχων σπόρων.

Επάνω στο πιεστήριο στηρίζεται το κυλινδρικό δοχείο προθερμάνσεως των αλεσμένων σπόρων, για τη διευκόλυνση της αποβολής του λαδιού.

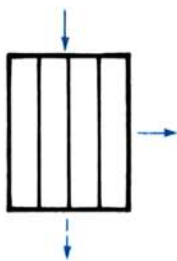
8.12 Συμβολισμοί για το διαχωρισμό των υλικών.

Ο διαχωρισμός των υλικών διεξάγεται, όπως είδαμε, σε μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών συσκευών, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση και τις ιδιότητες των πρώτων υλών και των προϊόντων του διαχωρισμού. Ιδιαίτερη διαμόρφωση στις βιομηχανικές συσκευές επιβάλλεται κάθε φορά και από την αντίσταση που προβάλλουν τα διάφορα συστατικά των μιγμάτων στην πραγματοποίηση του διαχωρισμού τους.

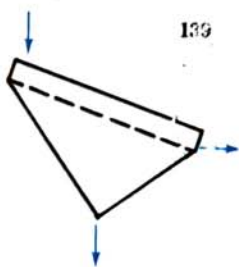
Στο σχήμα 8.12 δίνονται οι συμβολισμοί ορισμένων από τις κυριότερες συσκευές διαλογής, κοσκινίσματος, κατακρατήσεως κονιορτού, ηλεκτρικών και μαγνητικών διαχωρισμών, καθιζήσεως, φυγοκεντρήσεως, διηθήσεως και εκχυλίσσεως, που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.



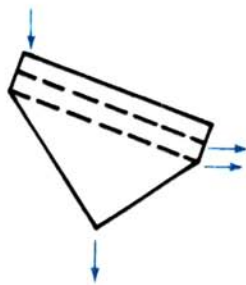
(a)



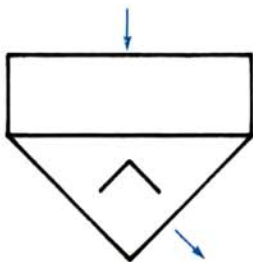
(b)



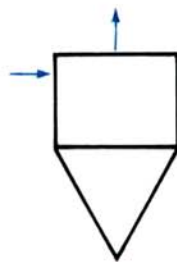
(c)



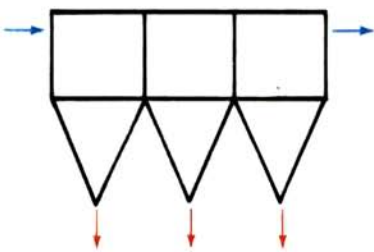
(d)



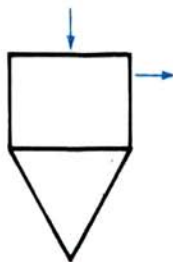
(e)



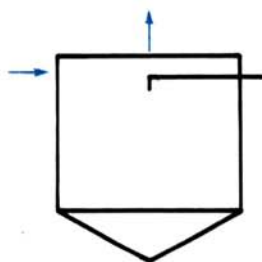
(f)



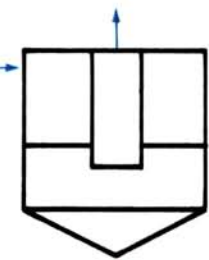
(g)



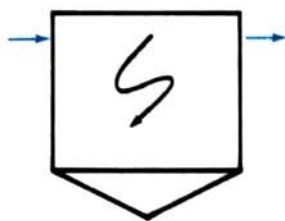
(h)



(i)



(l)



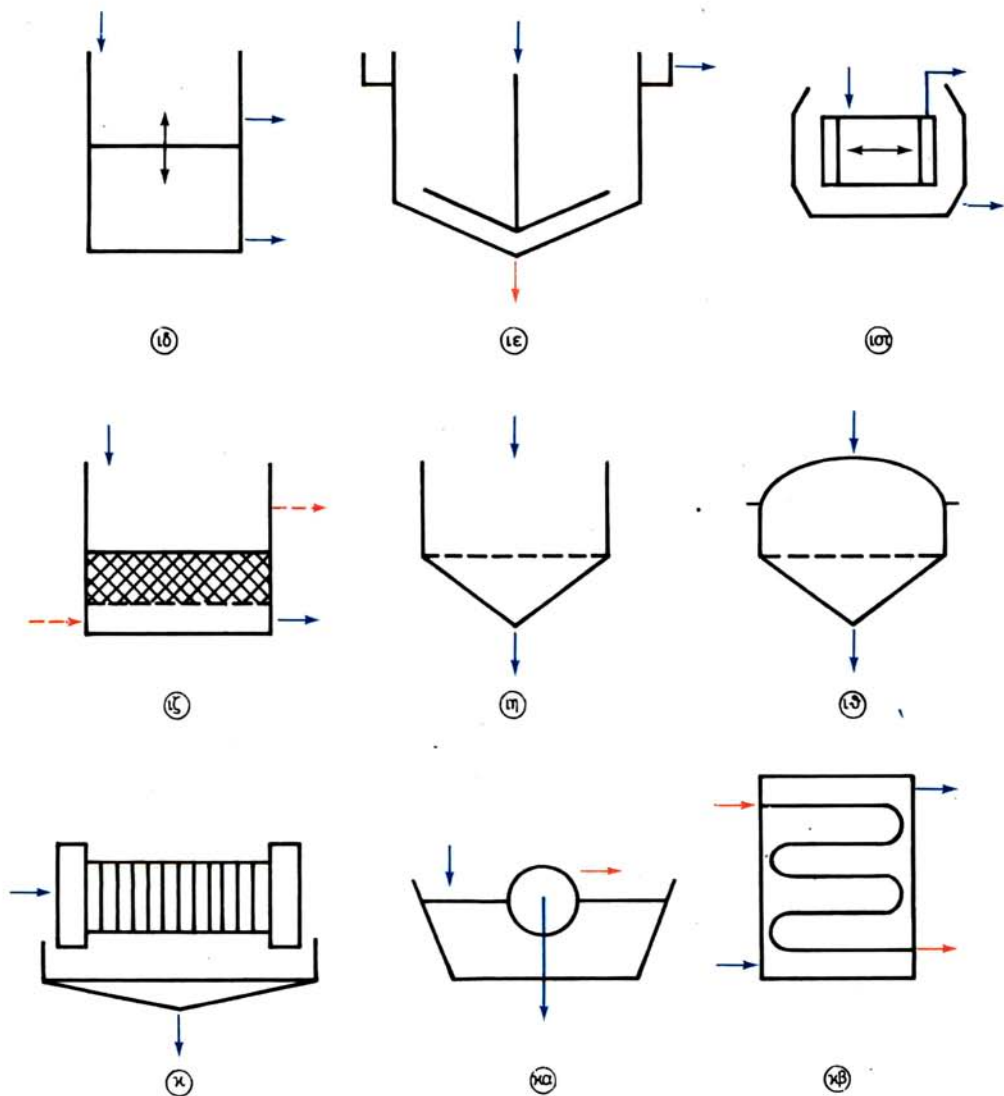
(m)



(n)



(o)


Σχ. 8.12.

Συμβολικές απεικονίσεις βιομηχανικών συσκευών για το διαχωρισμό των υλικών.
 α) Ταινία διαλογής. β) Εσχάρα κοσκίνισματος. γ) Απλό δονούμενο κόσκινο. δ) Διπλό δονούμενο κόσκινο. ε) Ανεμοδιαχωριστής. στ) Κυκλώνας. ζ) Συστοιχία κυκλώνων (πολυκυκλώνας). η) Κυκλώνας με προσαγωγή θερμών αερίων για θέρμανση υλικών. θ) Σακκόφίλτρο. ι) Πύργος πλύσεως αερίων με καταιονισμό. ια) Ηλεκτρόφίλτρο. ιβ) Ηλεκτροστατικός διαχωριστής τυμπάνου. ιγ) Μαγνητικός διαχωριστής. ιδ) Δοχείο ήρεμου διαχωρισμού υγρών. ιε) Δεξαμενή καθιζήσεως και παχύνσεως αιωρημάτων. ιστ) Φυγόκεντρα (φυγοκεντρικός διαχωριστής). ιζ) Διυλιστήριο χαλικιών και άμμου. ιη) Απλό φίλτρο διηθήσεως. ιθ) Φίλτρο πίεσεως. κ) Φιλτροπρέσσα. κα) φίλτρο κενού. κβ) Πύργος εκχυλίσεως.

Ερωτήσεις και Ασκήσεις.

1. Δώστε έναν ορισμό και ένα παράδειγμα διαχωρισμού υλικών.
2. Σε ποιες περιπτώσεις είναι συνήθως απαραίτητο να διεξάγεται ο διαχωρισμός των υλικών με προσωπικό έλεγχο και επέμβαση ανθρώπων;
3. Δώστε τρία παραδείγματα διαχωρισμού υλικών, στα οποία να γίνεται χρησιμοποίηση διαφορετικών μορφών ενέργειας.
4. Τι ονομάζεται άνοιγμα ενός κόσκινου με μεταλλικό πλέγμα; Τι ονομάζεται άνοιγμα μιας εσχάρας;
5. Ποιο είναι το άνοιγμα ενός κόσκινου 50 mesh με τετραγωνικό μεταλλικό πλέγμα κατασκευασμένο από σύρματα πάχους 0,19 mm. (Απάντηση: $a = 0,318$ mm)
6. Με τι πάχος σύρματος πρέπει να κατασκευασθεί το τετραγωνικό πλέγμα του κόσκινου 400 mesh και ανοίγματος 38 μm ; (Απάντηση: $\delta = 25,5$ μm)
7. Τι ονομάζεται κοκκομετρικό κλάσμα και κοκκομετρική ανάλυση ενός στερεού υλικού;
8. Πόσο είναι το κοκκομετρικό κλάσμα 0,6/0,2 mm του υλικού με την κοκκομετρική ανάλυση του πίνακα 8.2.1; (Απάντηση: 47,9%)
9. Σχεδιάστε μια κοκκομετρική καμπύλη υπολειμμάτων και την αντίστοιχη καμπύλη συνολικού περάσματος κοσκίνων για ένα υποθετικό ομοιογενές υλικό.
10. Για ποιους πρακτικούς λόγους δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με κοσκίνισμα πλήρης διαχωρισμός των στερεών υλικών, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους;
11. Σε ένα εργοστάσιο είναι διαθέσιμα πολλά δονούμενα κόσκινα ανοίγματος 5 mm και διαστάσεων πλέγματος 1×2 m. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα 8.2.2, υπολογίστε πόσα από τα κόσκινα αυτά θα χρειαστούν για το κοσκίνισμα 20 τόννων αλατιού την ώρα, πυκνότητας 1,0 g/cm³. (Απάντηση: 3 κόσκινα)
12. Τι κινδύνους δημιουργεί ο σχηματισμός κονιορτού στις βιομηχανίες; Γιατί δεν είναι συνήθως επιτρεπτή η αποβολή του κονιορτού από την καπνοδόχο του εργοστασίου;
13. Γιατί είναι ανεπιθύμητη η παρουσία υγρασίας στα αέρια που διαβιβάζονται σε σακκόφιλτρα για να καθαρισθούν από τον κονιορτό;
14. Περιγράψτε τη λειτουργία του πλυντηρίου ακροφυσίου για τον καθαρισμό των αερίων από τον κονιορτό.
15. Δώστε δύο παραδείγματα χρησιμοποίησεως μαγνητικών διαχωριστών στη βιομηχανία και περιγράψτε τη λειτουργία τους.
16. Με τι μεθόδους μπορεί να επιταχυνθεί η καθίζηση των υγρών αιωρημάτων;
17. Υπολογίστε την παροχή νερού με αιώρημα σκόνης μεταλλεύματος, που μπορεί να καθαριστεί σε δεξαμενή καθιζήσεως και παχύνσεως διαμέτρου 10m, αν είναι γνωστό ότι για το αιώρημα αυτό η ικανότητα καθαρισμού της δεξαμενής είναι 2m³/m²h. (Απάντηση: παροχή 157 m³/h)
18. Με τι διάμετρο πρέπει να κατασκευασθεί μια όμοια δεξαμενή καθιζήσεως και παχύνσεως, ώστε να καθαρίζει 200 m³/h του αιωρήματος της προηγούμενης ασκήσεως; (Απάντηση: διάμετρος 11,3 m)
19. Τι πλεονεκτήματα παρουσιάζουν οι φυγόκεντρες καθιζήσεως σε σύγκριση με τους παχυντές;
20. Σε τι διαφέρει η συμπεριφορά των υδρόφωβων και των υδρόφιλων συστατικών ενός μίγματος στερεών υλικών στις συσκευές επιπεδώσεως;
21. Υπολογίστε τον απαιτούμενο χρόνο για τη διήθηση 100 λίτρων υγρού από ένα επίπεδο υφασμάτινο οριζόντιο φίλτρο (π.χ. όπως στα σχήματα 8.12 ιη ή 8.12 ιθ) βασιζόμενοι στις εξής δύο πειραματικές μετρήσεις, που έγιναν με τις ίδιες συνθήκες στο ίδιο φίλτρο:
 - α) Για τη διήθηση 5 λίτρων απαιτήθηκε χρόνος 2 min.
 - β) Για τη διήθηση 20 λίτρων απαιτήθηκε χρόνος 12 min.
 Οδηγία για τη λύση: Βρείτε πρώτα τις τιμές των συντελεστών α και β , λύνοντας το σύστημα των εξισώσεων $V^2 + \alpha V = \beta t$ για τις δύο πειραματικές μετρήσεις. (Απάντηση: $t = 2$ ώρες 47 min)
22. Ποια είναι η ημερήσια (24 ώρες) ικανότητα καθαρισμού πόσιμου νερού σε ένα διυλιστήριο χαλικιών και άμμου με τετραγωνική δεξαμενή πλευράς 4m και ταχύτητα διηθήσεως 6m³/m²h; (Απάντηση: 2300 m³ περίπου)
23. Χρησιμοποιείστε τα στοιχεία των πινάκων 8.9.1 και 8.9.2 για να διαλέξετε το καταλληλότερο ύφασμα και να καθορίσετε το απαιτούμενο πληθος τετραγωνικών πλακών διαστάσεων 50x50

cm, για τη διήθηση σε φιλτροπρέσσα 20 m³/h υδατικού διαλύματος χλωρικού καλίου θερμοκρασίας 85°C και pH = 11.

(**Απάντηση:** πολυπροπυλένιο (το υγρό είναι αλκαλικό και οξειδωτικό) και 10 πλάκες).

24. Περιγράψτε ένα φίλτρο πίεσεως ασυνεχούς και ένα συνεχούς λειτουργίας.
 25. Ποια είναι η πορεία των διαφόρων υλικών και προϊόντων κατά την εκχύλιση με τη μέθοδο της πολυβάθμιας επαφής αντιρροής;
 26. Ποια είναι τα μειονεκτήματα του περιστροφικού κυλινδρικού εκχυλιστήρα υγρών πρώτων υλών;
 27. Πώς επηρεάζουν οι μέθοδοι εκχυλίσεως και εκθλίψεως ελαιούχων σπόρων την ποιότητα του στερεού υπολείμματος;
-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

9.1 Γενικά.

9.1.1 Θέρμανση και ψύξη.

Η πραγματοποίηση των διαφόρων φυσικών και χημικών διεργασιών στα βιομηχανικά υλικά και προϊόντα συνοδεύεται σχεδόν πάντα από τη μετάδοση ενέργειας από το περιβάλλον προς τα υλικά και προϊόντα ή αντίστροφα. Η ενέργεια που συμμετέχει στις βιομηχανικές αυτές διεργασίες μπορεί να βρίσκεται σε διάφορες μορφές, όπως είναι η μηχανική, η ηλεκτρική, η ενέργεια της βαρύτητας κλπ. Τη μεγαλύτερη όμως σημασία, ιδίως στη χημική βιομηχανία, έχει συνήθως η θερμική ενέργεια.

Η προσφορά ή η απομάκρυνση θερμότητας από τις βιομηχανικές συσκευές είναι κυρίως αναγκαία για τη δημιουργία και τη διατήρηση των καταλλήλων συνθηκών διεξαγωγής των χημικών αντιδράσεων και για τη μεταβολή της φυσικής κατάστασης των σωμάτων. Με **θέρμανση** επιταχύνονται πολλές φυσικές και όλες οι χημικές διεργασίες είτε αφορούν σε ενδόθερμες είτε σε εξώθερμες αντιδράσεις. Κυριότερες θερμικές φυσικές διεργασίες είναι η εξάτμιση των υγρών, η τήξη των στερεών και η ξήρανση, δηλαδή η απομάκρυνση της υγρασίας από τα σώματα. Η θερμότητα υποβοηθεί επίσης τη ροή των υγρών, την άλεση και την έκθλιψη των στερεών, την εκχύλιση των στερεών και υγρών κλπ.

Η **ψύξη** είναι αναγκαία όταν πρέπει να απομακρύνεται η θερμότητα που εκλύεται π.χ. σε μια εξώθερμη αντίδραση, ώστε να διατηρείται η βιομηχανική συσκευή σταθερά στην ευνοϊκή θερμοκρασία της αντίδρασης. Επίσης η ψύξη υποβοηθεί τη διάλυση αερίων σε υγρά, την προσρόφηση αερίων σε στερεά, την υγροποίηση αερίων, την κρυστάλλωση διαλυμένων στερεών κλπ. Άλλες χρήσεις της ψύξεως είναι στη συντήρηση ευαίσθητων τροφίμων, φαρμάκων ή άλλων προϊόντων και στον κλιματισμό των βιομηχανικών χώρων.

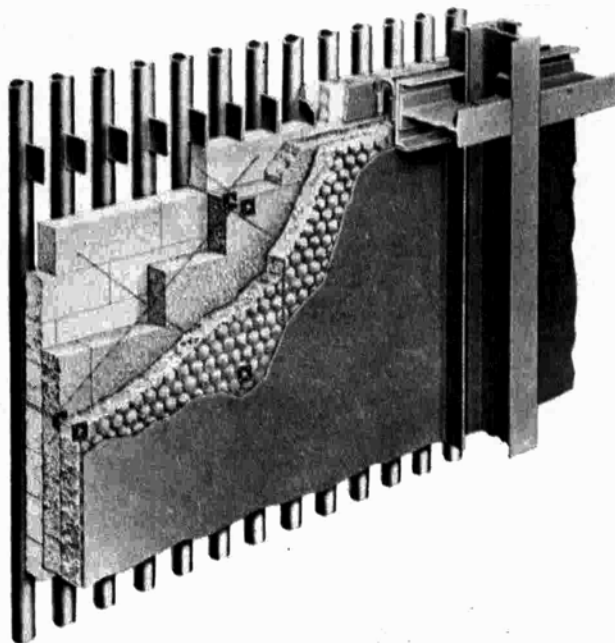
Κατά κανόνα η ψύξη είναι πολύ περισσότερο δαπανηρή από τη θέρμανση, κυρίως όταν παράγεται σε ψυκτικές μηχανές. Π.χ. η παροχή 1.000.000 kcal σε ένα σώμα με θέρμανση μπορεί να στοιχίζει 1000 δραχμές περίπου, ενώ η απομάκρυνση της ίδιας ποσότητας θερμικής ενέργειας με ψύξη του σώματος μπορεί να στοιχίζει 10 φορές περισσότερο.

9.1.2 Η θερμομόνωση.

Γενικά, τα έξοδα των βιομηχανιών για θερμάνσεις και ψύξεις αποτελούν συχνά τη μεγαλύτερη δαπάνη λειτουργίας τους. Γι' αυτό επιδιώκεται ο περιορισμός, όσο είναι δυνατό, των ανεπιθυμητών απωλειών που προκαλούνται με την ψύξη θερ-

μών υλικών ή τη θέρμανση ψυχρών υλικών από το περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα **θερμομονωτικά υλικά** που, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5, προβάλλουν αντίσταση στη ροή της θερμότητας. Πρόκειται για πορώδη κυρίως υλικά, που οι μονωτικές τους ιδιότητες οφείλονται στον αέρα, ο οποίος περικλείεται στους πόρους τους και εμποδίζει τη μετάδοση της θερμότητας. Με τον τρόπο αυτό παρεμβάλλεται θερμική αντίσταση μεταξύ των θερμών ή των ψυχρών τοιχωμάτων της βιομηχανικής συσκευής και του περιβάλλοντος.

Θερμομονωμένες σωληνώσεις κυκλοφορίας θερμών και ψυχρών υγρών είδαμε στις φωτογραφίες των σχημάτων 5.3γ, 5.4ε και 7.3γ. Στο σχήμα 9.1α εικονίζεται ειδικότερα η θερμική μόνωση του τοιχώματος ενός ατμολέβητα, στη ζώνη που γίνεται η καύση του καυσίμου. Προορισμός του ατμολέβητα είναι να θερμαίνει το νερό που κυκλοφορεί στους κατακόρυφους σωλήνες. Για να μη διαφεύγει όμως η θερμότητα στο περιβάλλον, τοποθετούνται στην εξωτερική πλευρά των σωλήνων δύο στρώσεις ανθεκτικών πυριμάχων πλίνθων και στη συνέχεια μία στρώση θερμομονωτικού υλικού, που συγκρατείται με συρμάτινα δικτυωτά και προστατεύεται εξωτερικά με μία λεπτή μεταλλική επένδυση.



Σχ. 9.1α.

Εξωτερική θερμική μόνωση των σωληνώσεων κυκλοφορίας νερού σε ένα ατμολέβητα.

Για κάθε θερμομονωτικό υλικό υπάρχει μία μέγιστη επιτρεπομένη θερμοκρασία χρησιμοποίησεως, πάνω από την οποία εκδηλώνονται τοπικές τήξεις του υλικού που προκαλούν την καταστροφή των πόρων του. Για τα οργανικά μονωτικά υλικά (φελλός, μπαμπάκι, πολυμερή υλικά) η μέγιστη θερμοκρασία είναι περίπου 100°C. Ο υαλοβάμβακας, δηλαδή λεπτότατες ίνες γυαλιού σε συσσωματώματα όπως το μπαμπάκι, χρησιμοποιείται μέχρι τους 500°C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες και

μέχρι τους 1000°C χρησιμοποιείται η γη διατόμων (πορώδες διοξείδιο του πυριτίου) και ο αμίαντος.

Η μεθοδική θερμομόνωση αποτελεί ένα από τα πιο αποτελεσματικά μέσα για την **εξοικονόμηση της ενέργειας** στη βιομηχανία. Η συνεχής εξάντληση των κυριότερων ενεργειακών πηγών της γης (πετρέλαιο και κάρβουνο) και το υψηλό κόστος προμήθειας καυσίμων επιβάλλουν την καταπολέμηση κάθε σπατάλης στην κατανάλωσή τους. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την Ελληνική οικονομία, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται στη χώρα προέρχεται από εισαγωγές καυσίμων από το εξωτερικό. Συγκεκριμένα, το 70% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στην Ελλάδα από τη βιομηχανία, τις μεταφορές, τις οικιακές χρήσεις κλπ. υπό τη μορφή θερμότητας ή ηλεκτρισμού, προέρχεται από καύση πετρελαίου που εισάγεται από το εξωτερικό και μόλις το 30% προέρχεται από εγχώριες πηγές (23% από καύση λιγνίτη, που εξορύσσεται κυρίως στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Μεγαλόπολης και Αλιβερίου και 7% από υδατοπτώσεις).



Σχ. 9.1β.

Εμπρός αριστερά, δίπλα στη μεγάλη καπνοδόχο, είναι ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τη θερμότητα που εκλύεται κατά τις σχάσεις των πυρήνων ουρανίου. Δεξιά πίσω του είναι ένας άλλος σταθμός ηλεκτροπαραγωγής από καύση πετρελαίου σε δύο ατμολέβητες. Δεξιότερα διακρίνονται οι δεξαμενές αποθηκείωσης του πετρελαίου.

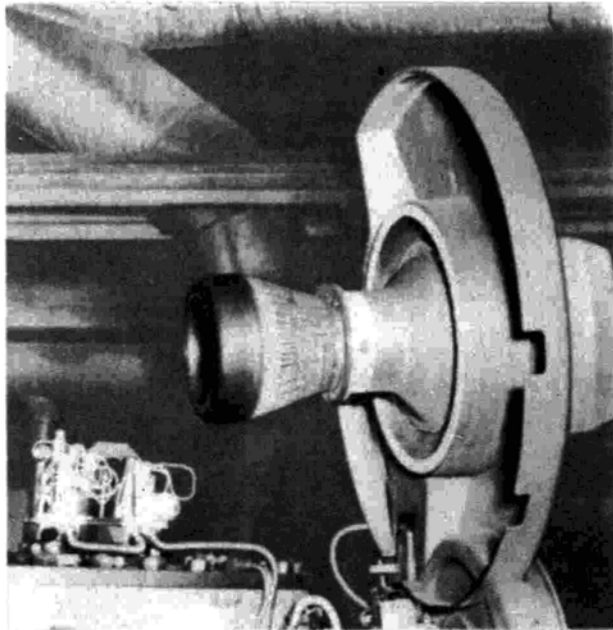
Η ενεργειακή κρίση που διέρχεται σήμερα η ανθρωπότητα, πιστεύεται ότι θα διαρκέσει επί πολλά χρόνια, γιατί σε μικρό μόνο βαθμό μπορεί να αντιμετωπισθεί με την ανακάλυψη νέων αποθεμάτων πετρελαίου και κάρβουνου ή με τη γενίκευση της χρησιμοποιήσεως της ατομικής ενέργειας από πυρηνικές σχάσεις (σχ.

9.1β). Υπολογίζεται ότι η κατάσταση θα αρχίσει να βελτιώνεται ύστερα από το έτος 2000, όταν θα έχουν ίσως αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί νέες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από πυρηνικές συντήξεις ή από τη δέσμευση σε μεγάλη κλίμακα της ηλιακής ενέργειας και της ενέργειας των ανέμων.

9.2 Μέθοδοι θερμάνσεως

9.2.1 Άμεση θέρμανση.

Η μετάδοση της θερμότητας στις βιομηχανικές συσκευές μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους άμεσους και έμμεσους τρόπους θερμάνσεως. Ο φαινομενικά απλούστερος άμεσος τρόπος είναι η θέρμανση της συσκευής με φλόγα, που σχηματίζεται κατά την καύση ενός στερεού, υγρού ή αερίου καυσίμου στον αέρα. Η καύση των στερεών καυσίμων γίνεται σε **εσχάρες** (σχ. 9.2γ), ενώ των υγρών και των αερίων, καθώς και των κονιοποιημένων στερεών, γίνεται σε **καυστήρες** (σχ. 9.2α και 9.2γ).



Σχ. 9.2α.

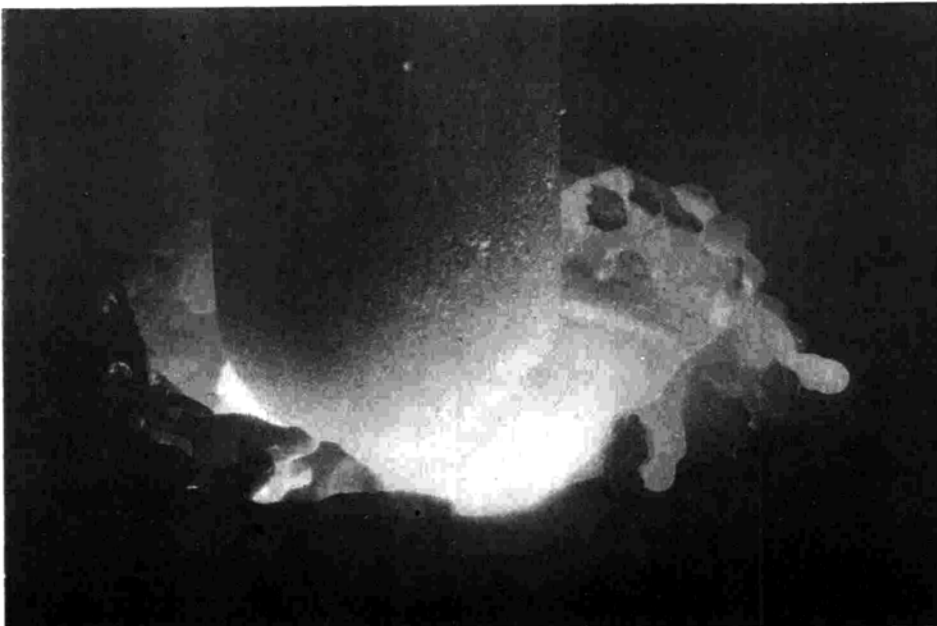
Καυστήρας για την εκτόξευση και καύση πετρελαίου...

Η θερμότητα που εκλύεται κατά μία καύση και εκδηλώνεται με τη φλόγα, κατανέμεται στα προϊόντα της καύσεως, δηλαδή τα καυσαέρια. Επομένως όσο μικρότερη είναι η ποσότητα των καυσαερίων, τόσο υψηλότερη θα είναι η θερμοκρασία της φλόγας, με την προϋπόθεση βέβαια ότι θα υπάρχει αρκετό οξυγόνο για την ολοκλήρωση της καύσεως του καυσίμου. Επίσης θα προκύπτει αυξημένη θερμοκρασία της φλόγας και των καυσαερίων, αν το καύσιμο και ο αέρας της καύσεως

είναι ήδη προθερμασμένα πριν διαβιβασθούν στον χώρο της καύσεως. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία φλόγας που μπορεί να πραγματοποιηθεί στις εστίες των βιομηχανικών καμίνων είναι περίπου 1600°C . Ανώτερες θερμοκρασίες φλόγας επιτυγχάνονται κατά την καύση αερίων καυσίμων με καθαρό οξυγόνο, αντί για αέρα, ώστε να μειωθεί σημαντικά η ποσότητα των καυσαερίων, αφού δεν περιέχουν πια το άζωτο, που είναι άχρηστο για την καύση. Έτσι, η φλόγα του μονοξειδίου του άνθρακα φθάνει τους 1950°C , του υδρογόνου τους 2045°C , του φωταερίου τους $2100\text{--}2200^{\circ}\text{C}$ και της ασετυλίνης (ακετυλενίου) τους 3000°C περίπου.

Η άμεση θέρμανση με φλόγα αποφεύγεται συνήθως στη βιομηχανία, ιδίως όταν επιδιώκονται σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω από 250°C , γιατί παρουσιάζει δυσκολίες στην ομοιογενή θέρμανση των υλικών, καθώς και κινδύνους ατυχημάτων. Η κυριότερη και ευρύτερη βιομηχανική εφαρμογή της θερμάνσεως με φλόγα είναι στους ατμολέβητες, δηλαδή συσκευές που λειτουργούν υπό πίεση και στις οποίες θερμαίνεται νερό και μετατρέπεται σε υδρατμό.

Άλλοι άμεσοι τρόποι βιομηχανικής θερμάνσεως είναι η ηλεκτρική θέρμανση με αντίσταση, επαγωγή ή τόξο (σχ. 9.2β), ενώ σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οι ακτινοβολίες, η ηλιακή θερμότητα, η θερμότητα των πυρηνικών σχάσεων κλπ.

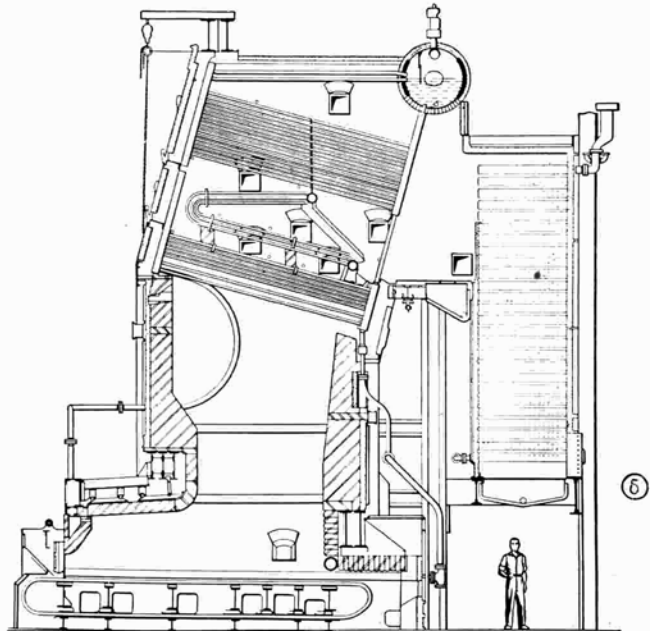
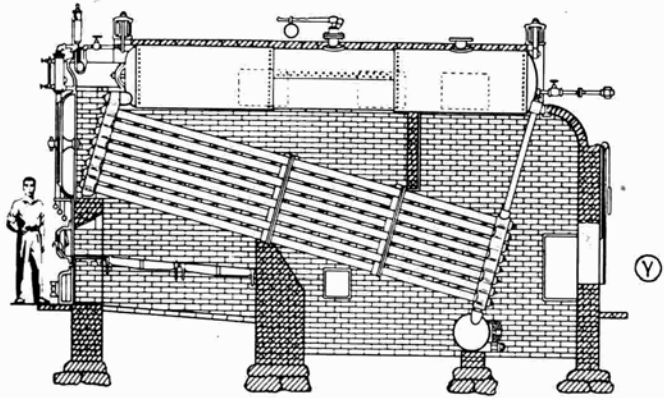
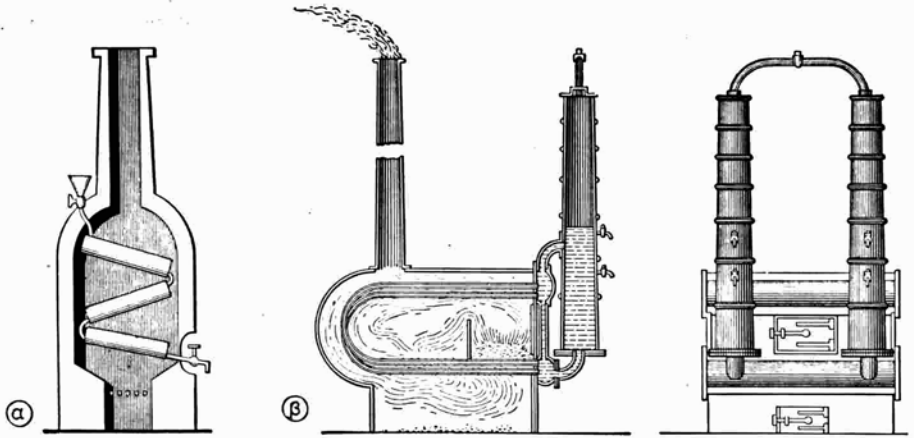


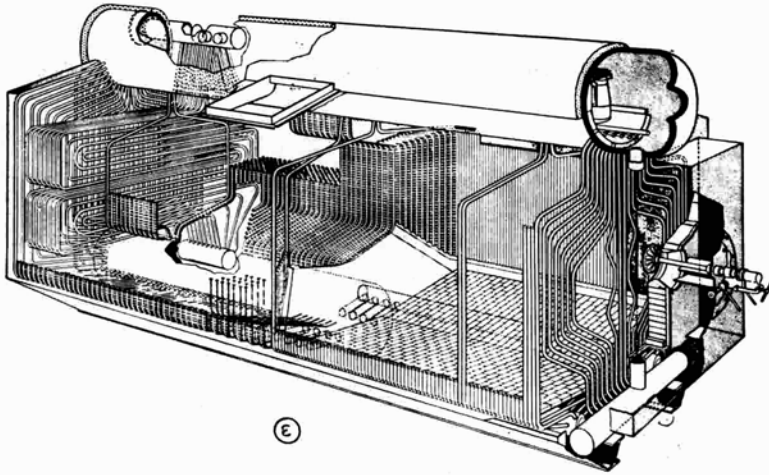
Σχ. 9.2β.

Θέρμανση με ηλεκτρικό τόξο, που σχηματίζεται μεταξύ ενός κυλινδρικού ηλεκτροδίου από γραφίτη (άνω) και του τήγματος που περιέχεται στην κάμινω.

9.2.2 Έμμεση θέρμανση με ατμό.

Οι έμμεσοι τρόποι θερμάνσεως διεξάγονται με κυκλοφορία διαφόρων θερμών





Σχ. 9.2γ.

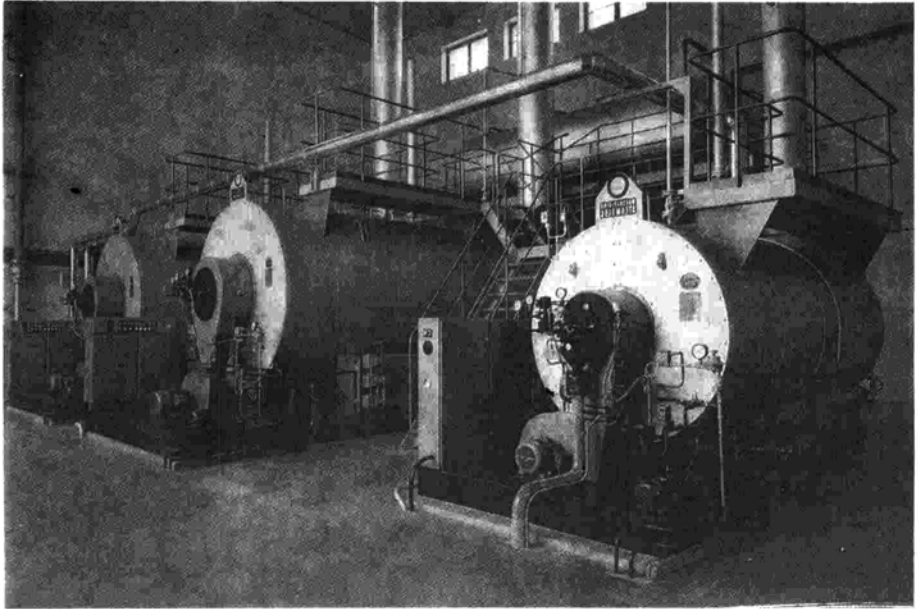
Η εξέλιξη του ατμολέβητα τα τελευταία 200 περίπου χρόνια.

α) Ο πρώτος ατμολέβητας με αυλούς (1766). β) Ατμολέβητας με αυλούς καμπύλου σχήματος (1826). γ) Ατμολέβητας με αυλούς υπό κλίση και οριζόντιο ατμοθάλαμο για τη συγκέντρωση του υδρατμού (1877). δ) Ατμολέβητας πίεσεως 46 at και θερμοκρασίας 350°C, με κινητή εσχάρα τύπου μεταφορικής ταινίας για καύση κάρβουνου (1924). ε) Σύγχρονος ατμολέβητας για καύση πετρελαίου.

αερίων ή υγρών. Στη βιομηχανία, το συνηθέστερο από τα θερμαντικά αυτά μέσα, είναι ο υδρατμός. Η παρουσία, μάλιστα, του ατμολέβητα και οι εφαρμογές του υδρατμού είναι τόσο συνηθισμένες στα εργοστάσια, ώστε έχουν επικρατήσει γενικά οι απλούστερες ονομασίες τους **λέβητας** (ή καζάνι) και **ατμός**. Ας ασχοληθούμε λοιπόν λίγο περισσότερο, με αυτά, αφού άλλωστε η χρησιμοποίηση του ατμού είχε τεράστια επίδραση στη βιομηχανική και τη γενικότερη τεχνολογική ανάπτυξη της ανθρωπότητας.

Στην αρχαιότητα, η παραγωγή υδρατμού και η εκμετάλλευσή του για την άντληση νερού και την περιστροφή ενός κατακόρυφου άξονα, αναφέρεται από τον Ήρωνα τον Αλεξανδρινό, το 150 π.Χ. Κατά τους νεώτερους χρόνους, ο υδρατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αντλιών στα ορυχεία το 1711 και στη συνέχεια σε πολλές άλλες βιομηχανικές εφαρμογές, ως κινητήριο ή θερμικό μέσο. Παράλληλα, ήταν εντυπωσιακή, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.2γ, η εξέλιξη των ατμολεβήτων για την παραγωγή του υδρατμού σε μεγαλύτερες ποσότητες, πιέσεις και θερμοκρασίες. Σήμερα κατασκευάζονται ατμολέβητες με ατμοπαραγωγή πολλών εκατοντάδων τόννων την ώρα, σε πίεση μέχρι 150 at και θερμοκρασία μέχρι 560°C περίπου.

Στη φωτογραφία του σχήματος 9.2δ εικονίζεται ένα λεβητοστάσιο εργοστασίου με τρεις ατμολέβητες του συνηθέστερου βιομηχανικού τύπου για παραγωγή μέχρι 10 t/h σε πίεση μέχρι 20 at και θερμοκρασία μέχρι 400°C περίπου. Στην εμπρός πλευρά και στο κέντρο του κυλινδρικού σώματος του κάθε ατμολέβητα είναι ο καυστήρας του πετρελαίου. Κάτω είναι ο φυσητήρας προσαγωγής του αέρα καύ-



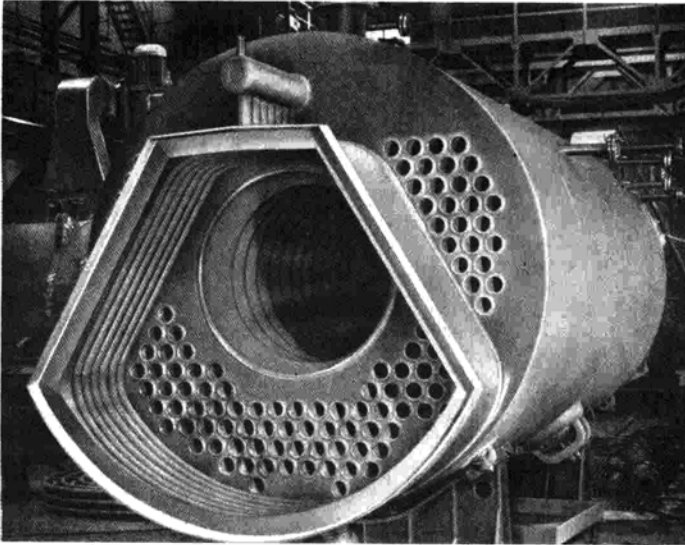
Σχ. 9.26.

Ένα βιομηχανικό λεβητοστάσιο με 3 ατμολέβητες.

σεως, αριστερά είναι η αντλία που τροφοδοτεί με πίεση το νερό στο εσωτερικό του ατμολέβητα, δεξιά στέκει ο πίνακας με τα όργανα αυτοματισμού και ελέγχου και πίσω φαίνεται η καπνοδόχος που οδηγεί τελικά τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα. Η έξοδος του παραγόμενου ατμού γίνεται μέσω μιας θερμομονωμένης σωληνώσεως από το άνω μέρος του κελύφους του ατμολέβητα.

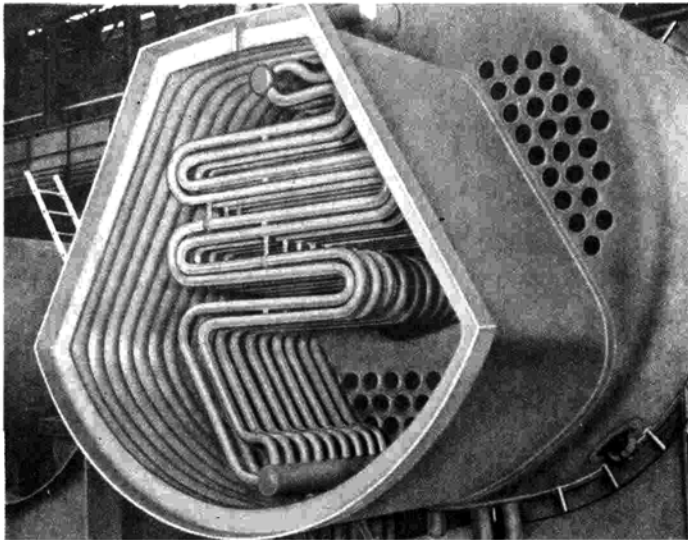
Ο ατμολέβητας είναι κατά τα $\frac{3}{4}$ περίπου γεμάτος με νερό. Η καύση του πετρελαίου γίνεται στον κεντρικό φλογοσωλήνα, τα καυσαέρια αναστρέφονται στο πίσω μέρος (σχ. 9.2ε) και επιστρέφουν προς τα εμπρός μέσω των μικρότερων σωληνών (αυλοί ή τούμπα), αναστρέφουν και πάλι προς τα πίσω και καταλήγουν στην καπνοδόχο. Δηλαδή τα καυσαέρια πραγματοποιούν 3 διαδρομές δια μέσου του νερού (πίσω, εμπρός, πίσω) μέχρι να αποβληθούν στην ατμόσφαιρα και με τον τρόπο αυτό έχουν την ευκαιρία να του μεταδώσουν μέσω των τοιχωμάτων του φλογοσωλήνα και των αυλών το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητάς τους. Σε πολλές από τις θερμικές χρήσεις, είναι σκόπιμο να έχει ο υδρατμός υψηλότερη θερμοκρασία από εκείνη που αντιστοιχεί στο σημείο βρασμού του νερού στην πίεση λειτουργίας του ατμολέβητα, στον οποίον παράγεται (υπέρθερμος ατμός). Στις περιπτώσεις αυτές, ο υδρατμός, ύστερα από το σχηματισμό του στον ατμολέβητα, διαβιβάζεται στη σωληνώση του **υπερθερμαντήρα** και επιστρέφει πάλι στο χώρο των θερμών καυσαερίων. Στο σχήμα 9.2στ εικονίζεται ένας υπερθερμαντήρας ατμού, τοποθετημένος στην έξοδο του φλογοσωλήνα ενός ατμολέβητα, που λειτουργεί σε πίεση 20 at. Κατά τη διαδρομή του μέσω του υπερθερμαντήρα του σχήματος, η θερμοκρασία του υδρατμού αυξάνεται από τους 211°C, που είναι η θερμοκρασία βρασμού του νερού σε πίεση 20 at, στους 400°C περίπου.

Για μεγαλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων, κατασκευά-



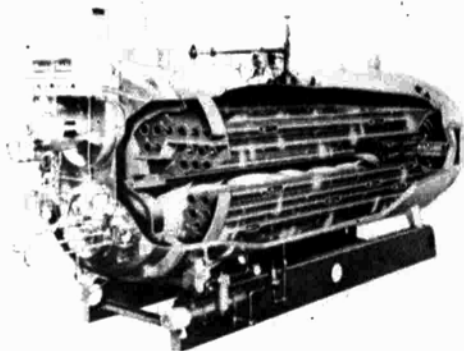
Σχ. 9.2ε.

Ατμολέβητας του τύπου του σχήματος 9.2δ στο στάδιο της κατασκευής. Φαίνεται η πίσω πλευρά με τη διαμόρφωση για την αναστροφή της πορείας των καυσαερίων από τον κεντρικό φλογοσωλήνα στους αυλούς της δεύτερης διαδρομής. Διακρίνονται επίσης στα πλευρά του κελύφους του ατμολέβητα οι σωληνώσεις εισαγωγής του νερού και στο επάνω μέρος του η σωλήνωση εξαγωγής του παραγόμενου ατμού.



Σχ. 9.2στ.

Υπερθερμαντήρας ατμού στο χώρο αναστροφής της πορείας των καυσαερίων ενός ατμολέβητα του τύπου του σχήματος 9.2δ.



Σχ. 9.2ζ.

Ατμολέβητας τεσσάρων διαδρομών. Διακρίνονται οι φλόγες στον κεντρικό φλογοσωλήνα και οι αυλοί των άλλων τριών διαδρομών των καυσαερίων.

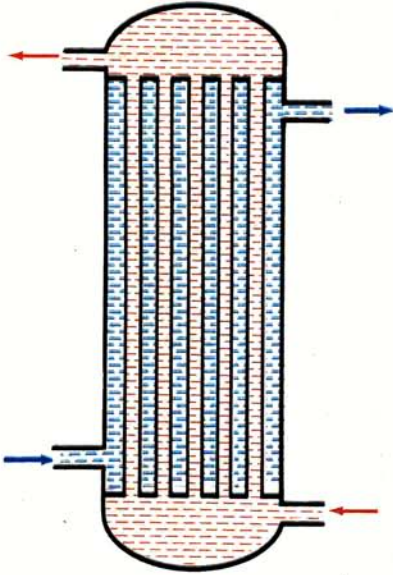
ζονται επίσης ατμολέβητες 4 διαδρομών (πίσω, εμπρός, πίσω, εμπρός). Στην περίπτωση αυτή η καπνοδόχος τοποθετείται στην εμπρός πλευρά του ατμολέβητα (σχ. 9.2ζ).

Παρατηρείστε ότι, σε αντίθεση με τους ατμολέβητες του σχήματος 9.2γ, όπου το νερό κυκλοφορεί και ατμοποιείται μέσα στους αυλούς και τα καυσαέρια στο εξωτερικό τους, στους ατμολέβητες των σχημάτων 9.2δ έως 9.2ζ τα καυσαέρια είναι αυτά που κυκλοφορούν μέσα από τους αυλούς, ενώ το νερό ατμοποιείται στο χώρο μεταξύ των αυλών και του εξωτερικού κελύφους. Οι ατμολέβητες της πρώτης κατηγορίας ονομάζονται **υδραυλωτοί** και της δεύτερης **φλογαυλωτοί**.

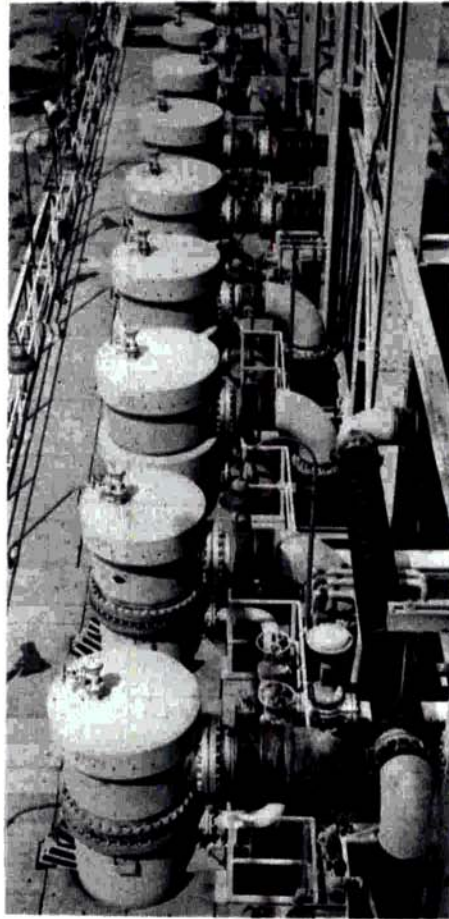
9.2.3 Εναλλάκτες Θερμότητας.

Η μετάδοση θερμότητας με υδρατμό, θερμό νερό, καυσαέρια ή οποιοδήποτε άλλο ρευστό θερμικό μέσο στη χημική βιομηχανία, γίνεται με θέρμανση ενός άλλου, ψυχρότερου ρευστού δια μέσου ενός τοιχώματος. Τα δύο ρευστά μπορεί να είναι αέρια ή υγρά ή το ένα αέριο και το άλλο υγρό, ή ακόμη μπορεί να αλλάζουν φυσική κατάσταση κατά τη διάρκεια της θερμάνσεως, όπως συμβαίνει π.χ. συχνά κατά τη θερμική δράση του υδρατμού που όταν ψύχεται υγροποιείται. Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάκτηση και η αξιοποίηση της θερμότητας του θερμού ρευστού, όταν το ρευστό αυτό δεν υπάρχει λόγος να βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία.

Η συσκευή στην οποία διεξάγεται η παραπάνω εναλλαγή θερμότητας μεταξύ των δύο ρευστών ονομάζεται **εναλλάκτης θερμότητας** και αποτελείται, στην απλούστερη περίπτωση, από μία δέσμη παραλλήλων σωλήνων, που διασχίζουν ένα κυλινδρικό δοχείο. Το ψυχρότερο ρευστό εισάγεται στους σωλήνες και, καθώς τους διατρέχει, θερμαίνεται από το θερμότερο ρευστό, που κυκλοφορεί στον εξωτερικό χώρο του δοχείου κατά την αντίθετη κατεύθυνση (σχ. 9.2η). Όταν οι ποσότητες των ρευστών που διακινούνται ή της θερμότητας που μεταδίδεται από το ένα ρευστό στο άλλο είναι πολύ μεγάλες, οι εναλλάκτες θερμότητας κατασκευά-



Σχ. 9.2η.
Κατακόρυφος σωληνωτός εναλλάκτης
θερμότητας με κυκλοφορία των δύο
ρευστών κατ' αντίρροή.



Σχ. 9.2θ.
Σειρά από 8 κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας για τη θέρμανση ψυχρών διαλυμάτων από θερμά αέρια. Στη φωτογραφία φαίνεται μόνο το άνω μέρος των εναλλακτών. Οι μεγάλης διαμέτρου πλευρικές σωληνώσεις συνδέουν τα στόμια εξαγωγής των αερίων. Χαμηλότερα διακρίνονται οι σωληνώσεις που φέρνουν τα ψυχρά διαλύματα στους εναλλάκτες.

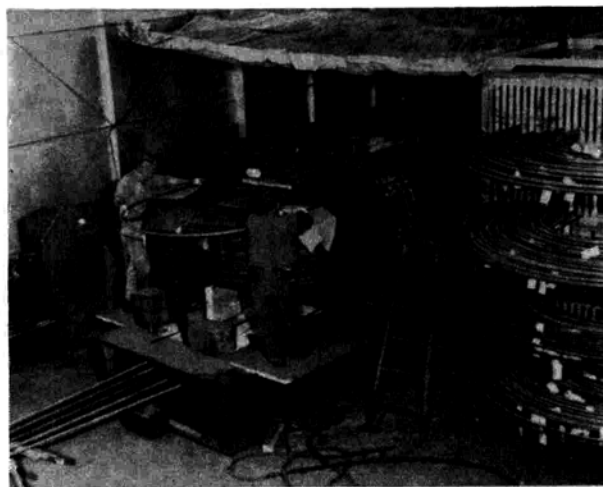
ζονται σε αντίστοιχα μεγάλες διαστάσεις ή τοποθετούνται πολλοί από αυτούς σε σειρά (σχ. 9.2θ). Σε ορισμένες περιπτώσεις επιδιώκεται η αύξηση της εξωτερικής επιφάνειας των σωλήνων, π.χ. με τη συγκόλληση πτερυγίων (σχ. 9.2ι), ώστε να είναι μεγαλύτερη η επιφάνεια εναλλαγής της θερμότητας και να γίνεται ταχύτερα η μετάδοσή της από το θερμό ρευστό στο ψυχρό.



Σχ. 9.2ι.

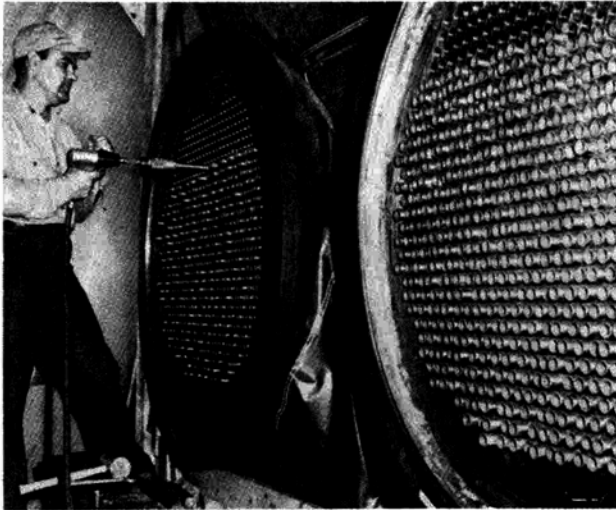
Πτερυγιόφοροι σωλήνες για την αύξηση της επιφάνειας των τοιχωμάτων εναλλαγής της θερμότητας.

Ανάλογα με τις ποσότητες, τις ιδιότητες και τις θερμοκρασίες των δύο ρευστών, οι εναλλάκτες θερμότητας κατασκευάζονται επίσης συχνά με αντίθετη σύνδεση, δηλαδή όπως στην περίπτωση των φλογαυλωτων ατμολεβήτων, με κυκλοφορία του θερμού ρευστού στους σωλήνες και του ψυχρού ρευστού στον εξωτερικό χώρο. Επίσης δίνεται στους σωλήνες σχήμα καμπύλο (σχ. 9.2ια και σχ. 9.2ιβ)



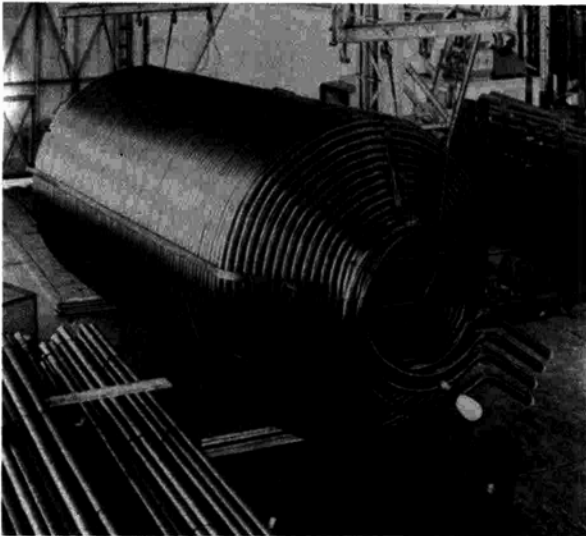
Σχ. 9.2ια.

Συναρμολόγηση ενός εναλλάκτη θερμότητας ημικυκλικού σχήματος.



Σχ. 9.2ιβ.

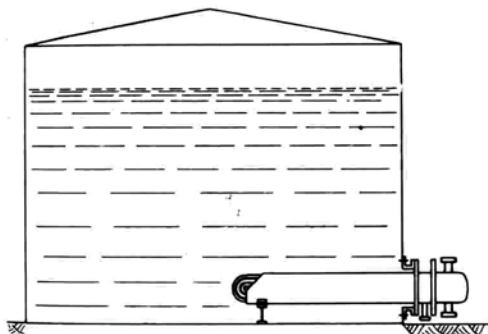
Προσαρμογή των άκρων των καμπύλων σωλήνων στον εναλλάκτη θερμότητας του σχήματος 9.2ια.



Σχ. 9.2ιγ.

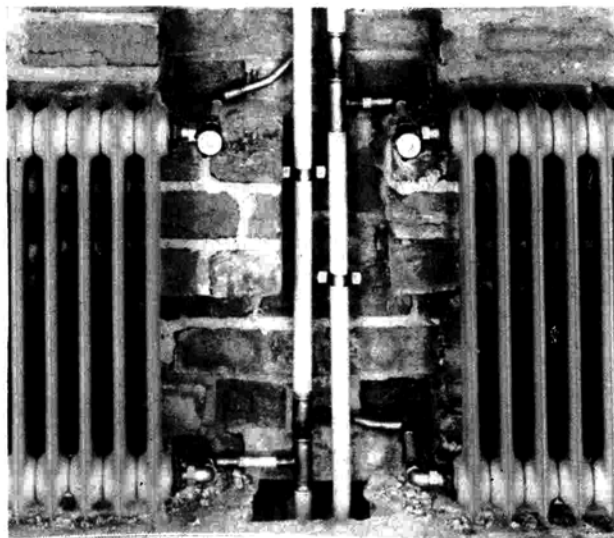
Πυκνή τετραπλή σπείρα σωληνώσεων, που προορίζεται για το εσωτερικό ενός εναλλάκτη θερμότητας.

ή σπειροειδές (σχ. 9.2ιγ) ή τοποθετούνται σε μικρό μόνο μέρος του χώρου του εξωτερικού δοχείου, όπως π.χ. στο σχήμα 9.2ιδ, όπου εικονίζεται ένας μικρός εναλλάκτης θερμότητας στο στόμιο εξαγωγής μιας δεξαμενής αποθηκεύσεως παχύρευστου υγρού (πετρέλαιο μαζούτ). Στη σωλήνωση του εναλλάκτη κυκλοφορεί



Σχ. 9.2ιδ.

Τοπική προθέρμανση του πετρελαίου στην περιοχή του στομίου εξαγωγής μιας δεξαμενής αποθηκεύσεώς του.



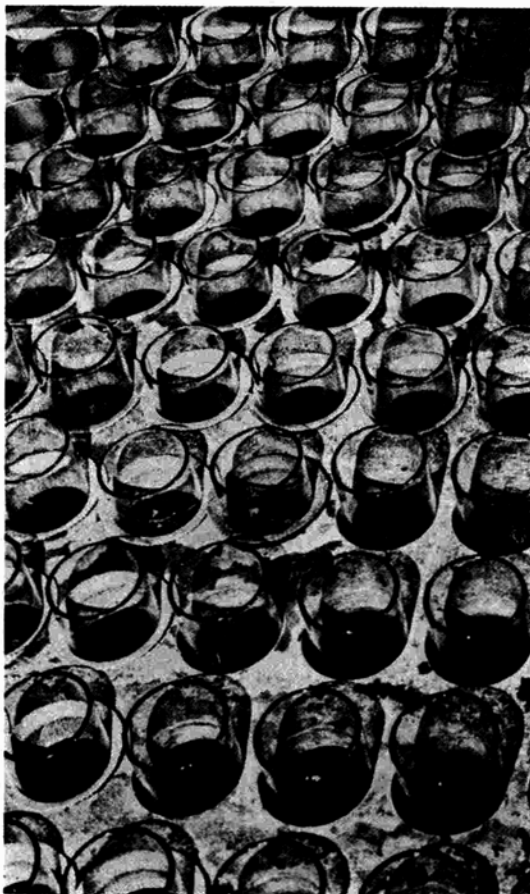
Σχ. 9.2ιε.

Η σύνδεση των σωμάτων του καλοριφέρ σε μία εγκατάσταση κεντρικής θερμάνσεως. Η αριστερή κατακόρυφη σωλήνωση φέρνει το θερμό νερό στα σώματα και η δεξιά το απομακρύνει, ύστερα από τη διαδρομή του μέσα από αυτά. Τα σώματα είναι διαμορφωμένα σε λεπτές φέτες με πτερύγια, ώστε να παρουσιάζουν μεγάλη επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας.

Θερμός υδρατμός, που θερμαίνει τοπικά το μαζούτι, ώστε να γίνεται λιγότερο παχύρρευστο και να ρέει ευκολότερα έξω από τη δεξαμενή.

Ός ένας εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να θεωρηθεί και το σώμα του καλοριφέρ της κεντρικής θερμάνσεως των σπιτιών (σχ. 9.2ιε). Το θερμό νερό που έρχεται από ένα κεντρικό λέβητα, κυκλοφορεί μέσα στο σώμα και θερμαίνει τον ψυχρό αέρα που το περιβάλλει. Στην περίπτωση αυτή, ολόκληρο το δωμάτιο αποτελεί το εξωτερικό δοχείο του εναλλάκτη και οι πόρτες ή τα παράθυρα είναι τα στόμια εισαγωγής και εξαγωγής του ψυχρού ρευστού, δηλαδή του αέρα.

Οι σωλήνες και το κέλυφος του δοχείου των εναλλακτών θερμότητας κατασκευάζονται συνήθως από χάλυβα. Σε ειδικές όμως περιπτώσεις, όπως π.χ. σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή πολύ διαβρωτικό περιβάλλον, χρησιμοποιούνται ανθεκτικότερα μέταλλα και κράματα (ανοξείδωτοι χάλυβες, τιτάνιο, μολυβδαίνιο, ταντάλιο κλπ.) ή ακόμη και μη μεταλλικά υλικά όπως π.χ. το γυαλί (σχ. 9.2ιστ).



Σχ. 9.2ιστ.

Εναλλάκτης θερμότητας με σωλήνες από γυαλί, για τη διοχέτευση θερμών διαβρωτικών αερίων.

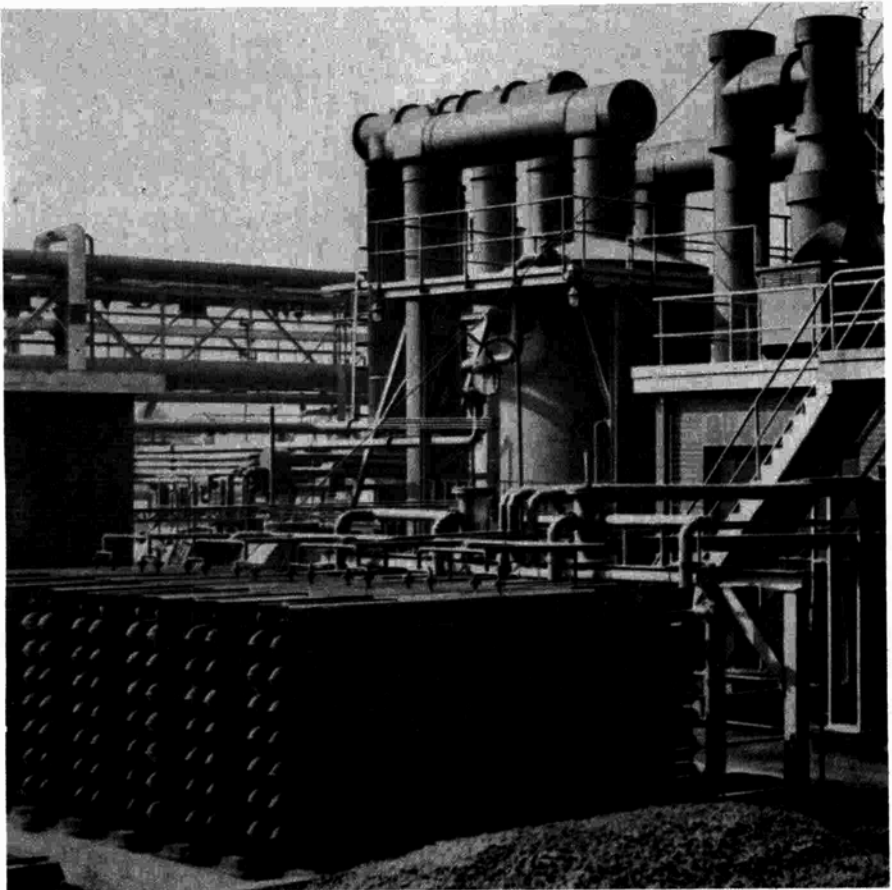
9.3 Μέθοδοι ψύξεως.

9.3.1 Ψυγεία καταιονισμού και πύργοι ψύξεως.

Ένα σώμα, ψύχεται όταν χάνει θερμότητα. Η εξάτμιση των υγρών, η διάλυση διαφόρων υγρών και στερεών, η τήξη των στερεών, η εκτόνωση των αερίων πραγματοποιούνται με κατανάλωση ενέργειας. Όταν όμως τα παραπάνω φαινόμενα συμβαίνουν αυθόρμητα, χωρίς εξωτερική προσφορά ενέργειας, η απαιτούμενη ποσότητά της αφαιρείται ως θερμότητα από το περιβάλλον καθώς και από τα ίδια

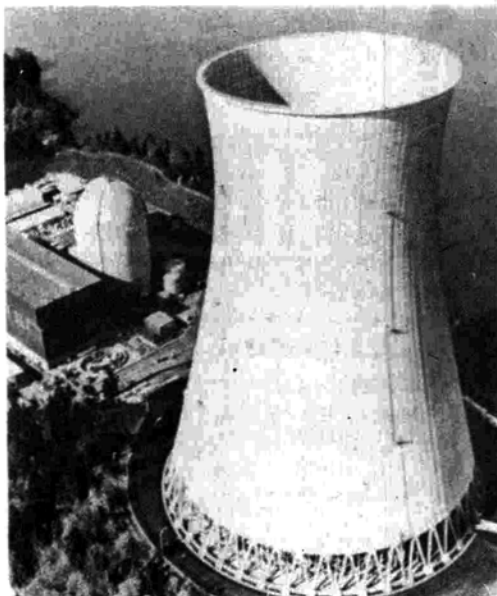
τα σώματα, που εξατμίζονται, διαλύονται, τήκονται ή εκτονώνονται. Το αποτέλεσμα επομένως των αντιστοίχων διεργασιών (εξάτμιση, διάλυση, τήξη, εκτόνωση) είναι η ψύξη του περιβάλλοντος και των σωμάτων που μετέχουν σ' αυτές.

Η ψύξη των στερεών σωμάτων δεν αποτελεί συνήθως πρόβλημα, γιατί παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια και ψύχονται εύκολα με την κυκλοφορία του αέρα. Τα ρευστά σώματα (υγρά και αέρια) ψύχονται συνήθως σε εναλλάκτες θερμότητας με κυκλοφορία ενός ψυκτικού υγρού. Όταν επιδιώκεται ψύξη μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ως ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται φυσικό νερό από το δίκτυο υδρεύσεως, πηγάδια, ποταμούς ή τη θάλασσα. Αν μάλιστα το νερό είναι άφθονο και φθινό, δεν κατασκευάζεται εξωτερικό δοχείο στον εναλλάκτη, αλλά οι σωληνώσεις που μεταφέρουν το ρευστό τοποθετούνται στο ύπαιθρο και καταιονίζονται με το νερό, που απορρίπτεται στη συνέχεια. Ένα **ψυγείο καταιονισμού** εικονίζεται στο σχήμα 9.3α.



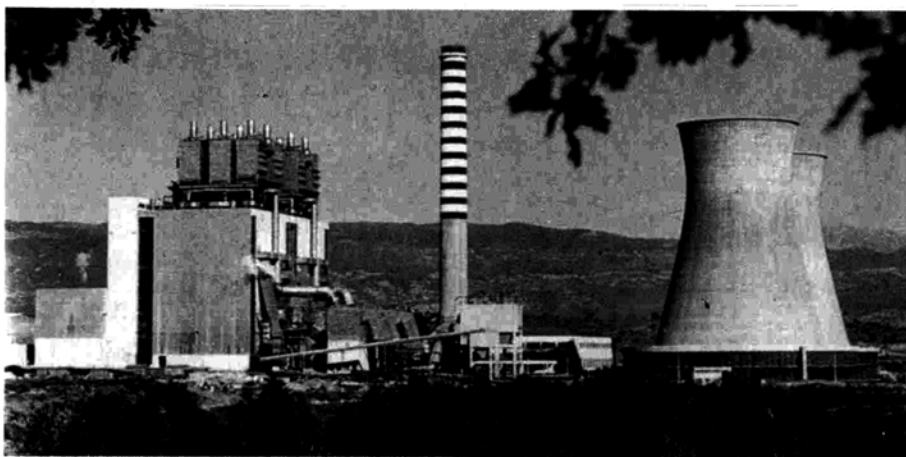
Σχ. 9.3α.

Υπαίθριο ψυγείο με καταιονισμό νερού. Στην οριζόντια ελικοειδή σωληνώση κυκλοφορεί θερμό θειικό οξύ, του οποίου επιδιώκεται η ψύξη.


Σχ. 9.3β.

Ένας μεγάλος πύργος ψύξεως νερού δίπλα σε ένα πυρηνικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Σε περίπτωση που το νερό είναι λιγότερο άφθονο, ανακυκλώνεται για να ξαναχρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο, αφού προηγουμένως εκτοξευθεί σε μεγάλους κενούς πύργους, ώστε να πέσει η θερμοκρασία του (σχ. 9.3β). Η πτώση της θερμοκρασίας του νερού στους **πύργους ψύξεως** οφείλεται στην εξάτμιση που προκα-


Σχ. 9.3γ.

Δύο πύργους ψύξεως στο θερμικό στάθμο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της Μεγαλόπολης με καύση λιγνίτη. Στη στέγη του κτιρίου αριστερά, που στεγάζει δύο ατμολέβητες παραγωγής από 420 t/h, είναι τοποθετημένα δώδεκα ηλεκτρόφιλτρα κατακρατήσεως του κονιορτού. Τέσσερα άλλα ηλεκτρόφιλτρα είναι μεταξύ του κτιρίου και της καπνοδόχου.

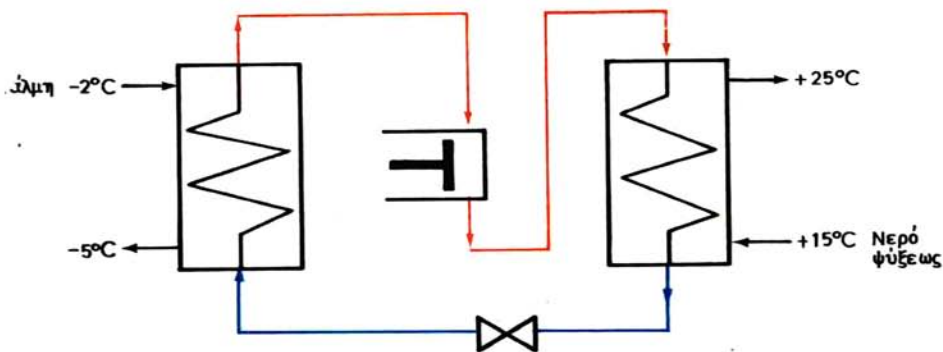
λείται, λόγω της εκτοξεύσεως, σε ένα μέρος της ποσότητάς του, που έχει σαν αποτέλεσμα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, να ψύχεται η υπόλοιπη ποσότητα του νερού. Πύργοι ψύξεως κατασκευάζονται συνήθως στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, για να αντιμετωπισθούν οι μεγάλες ψυκτικές ανάγκες των ατμοτροβίλων (σχ. 9.3γ).

9.3.2 Ψυκτικές μηχανές.

Ψύξη σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος γίνεται με **ψυκτικές μηχανές** και κυκλοφορία ψυκτικών υγρών (νερό ή κατάλληλα διαλύματα αλάτων για θερμοκρασίες κάτω του 0°C). Υδατικό π.χ. διάλυμα με 20% NaCl παραμένει υγρό μέχρι τους $-17,5^{\circ}\text{C}$, με 25% MgCl_2 μέχρι τους -24°C και με 30% CaCl_2 μέχρι τους $-51,7^{\circ}\text{C}$. Τα διαλύματα αυτά ονομάζονται **άλμες**.

Η παραγωγή ψύχους στις ψυκτικές μηχανές προέρχεται από την εξάτμιση διαφόρων υγρών και κυρίως της αμμωνίας (NH_3), του διοξειδίου του θείου (SO_2) και του διχλωροδιφθορομεθανίου (CF_2CCl_2), γνωστότερου με την ονομασία **φρεόν**. Οι ατμοί των υγρών αυτών συλλέγονται ύστερα από την εξάτμιση και υγροποιούνται πάλι, ώστε να ανακυκλωθούν και να ξαναχρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ψύχους κλπ. Ανάλογα με τη μέθοδο υγροποιήσεως των ατμών, οι ψυκτικές μηχανές διαιρούνται σε τύπου **συμπιέσεως** και τύπου **απορροφήσεως**.

Το σχήμα 9.3δ δείχνει το διάγραμμα λειτουργίας μιας ψυκτικής μηχανής με συμπίεση αμμωνίας. Η αέρια NH_3 συμπιέζεται σε ένα συμπιεστή και υγροποιείται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας, που ψύχεται με νερό. Κατόπιν εκτονώνεται σε μία βαλβίδα, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας της στους -30°C περίπου, και χρησιμοποιείται για τη ψύξη της άλμης σε έναν άλλο εναλλάκτη θερμότητας, όπου και εξατμίζεται, συλλέγεται και ξανασυμπιέζεται στο συμπιεστή.



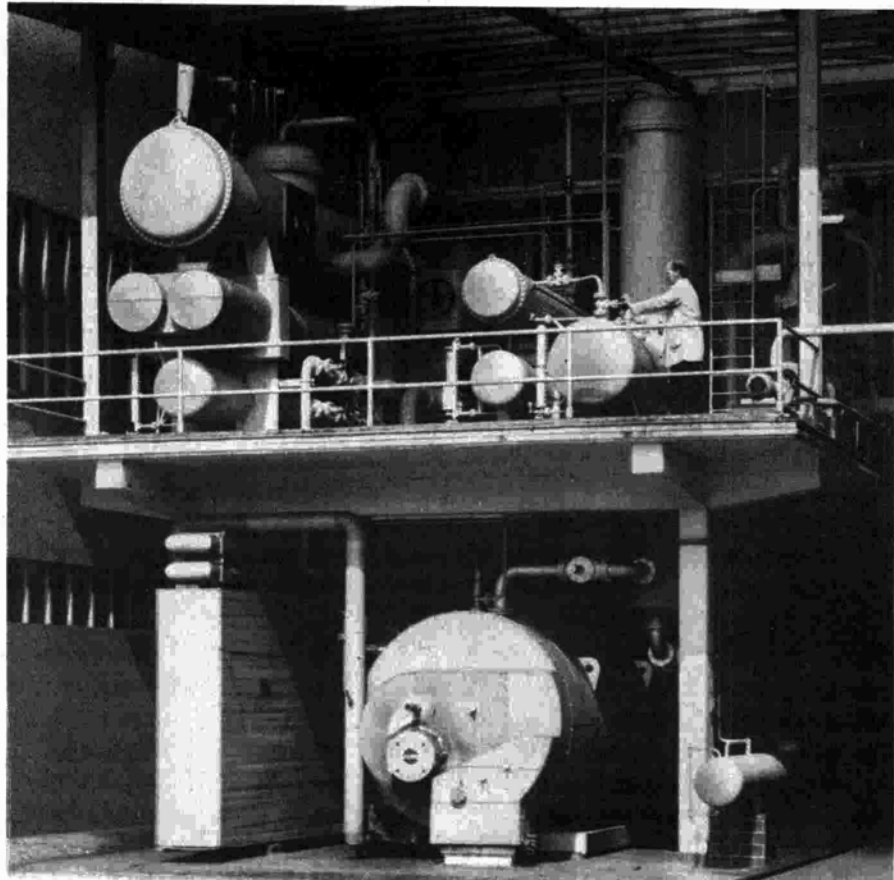
Σχ. 9.3δ.

Η λειτουργία μιας ψυκτικής μηχανής με συμπίεση αμμωνίας και ψύξη άλμης.

Η παραγωγή ψύχους με την παραπάνω μέθοδο γίνεται με κατανάλωση κυρίως μηχανικής ή ηλεκτρικής ενέργειας στο συμπιεστή. Αντίθετα, στη μέθοδο της απορροφήσεως η παραγωγή ψύχους γίνεται, με κατανάλωση κυρίως θερμικής ενέργειας, γι' αυτό η εφαρμογή της πλεονεκτεί σε εργοστάσια όπου υπάρχει διαθέ-

σιμη θερμότητα, π.χ. υδρατμός, θερμός-αέρας, καυσαέρια κλπ. Η NH_3 ύστερα από την εξάτμιση και την ψυκτική της δράση, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, διαβιβάζεται σε ένα δοχείο όπου απορροφάται σε νερό. Το υδατικό διάλυμα της NH_3 συμπιέζεται με αντλία, στην οποία όμως η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρή, περίπου το $\frac{1}{6}$ της ενέργειας που καταναλώνει ο συμπιεστής της αέριας NH_3 στην αντίστοιχη ψυκτική μηχανή συμπίεσης. Κατόπιν το διάλυμα θερμαίνεται και εξατμίζεται η NH_3 , ενώ εξακολουθεί να βρίσκεται υπό την υψηλή πίεση. Στη συνέχεια ψύχεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας με νερό, υγροποιείται, εκτονώνεται, όπως και προηγουμένως σε βαλβίδα εκτονώσεως, ψύχει την άλμη και ανακυκλώνεται στο δοχείο απορροφήσεως.

Στο σχήμα 9.3ε εικονίζεται μια ψυκτική μηχανή με απορρόφηση NH_3 , ψυκτικής ικανότητας 1.800.000 kcal/h σε θερμοκρασία -6°C . Στο κάτω μέρος είναι ο ατμολέβητας, που παράγει τον ατμό, για τη θέρμανση και εξάτμιση της NH_3 από το υδατικό διάλυμα. Η διεργασία αυτή διεξάγεται, στο πίσω μέρος της φωτογραφίας, στη μεγάλη κατακόρυφη στήλη, στο πίσω μέρος της εγκαταστάσεως. Η απορρόφηση της NH_3 στο νερό γίνεται στο οριζόντιο κυλινδρικό δοχείο, στο επάνω δεξιό μέρος της φωτογραφίας.



Σχ. 9.3ε.

Ψυκτική μηχανή με απορρόφηση αμμωνίας.

9.4 Η ξήρανση των στερεών.

9.4.1 Μέθοδοι ξηράνσεως.

Με την **ξηράνση** των στερεών σωμάτων επιδιώκεται η απαλλαγή τους από το σύνολο ή μέρος της υγρασίας ή άλλων υγρών, που περιέχονται στα σώματα αυτά. Π.χ. στο ξηρό μαγειρικό αλάτι εξακολουθεί να περιέχεται 0,5% υγρασία περίπου, ενώ στο ξηρό κάρβουνο η υγρασία φτάνει συνήθως το 4% της ολικής μάζας του.

Η υγρασία των στερεών εκφράζεται ως ποσοστό είτε στα εκατό της ολικής μάζας του υλικού, είτε στα εκατό της ξηράς ουσίας, μετά την πλήρη απομάκρυνση του συνόλου της υγρασίας του. Δηλαδή, αν σε ένα εντελώς ξηρό σώμα μάζας 100 kg προστεθούν 10 kg νερού, θα αποκτήσει υγρασία 10% της ξηράς ουσίας, αλλά το ποσοστό της υγρασίας στη συνολική μάζα των 110 kg του υλικού θα είναι $10 \times 100/110 = 9,09\%$. Γενικότερα, αν η περιεκτικότητα σε υγρασία ενός σώματος είναι $\xi\%$ της ξηράς ουσίας του και $u\%$ της συνολικής μάζας του, μπορείτε εύκολα να διαπιστώσετε ότι οι τιμές των ξ και u συνδέονται με τις σχέσεις:

$$\xi = \frac{100u}{100 - u} \quad \text{και} \quad u = \frac{100\xi}{100 + \xi}$$

Επίσης η ποσότητα του νερού N που πρέπει να απομακρυνθεί για να μειωθεί η υγρασία ενός υλικού μάζας M kg από $u_1\%$ σε $u_2\%$ δίνεται από τη σχέση:

$$N = M \frac{u_1 - u_2}{100 - u_2} \text{ kg}$$

Η απαλλαγή των στερεών σωμάτων από τις ποσότητες του νερού ή άλλων υγρών που μπορεί να περιέχουν, είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με **μηχανικές** και με **θερμικές** μεθόδους. Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, κατά τους μηχανικούς διαχωρισμούς επιδιώκεται η αποβολή του υγρού από το υλικό με συμπίεση, έκθλιψη, φυγοκέντριση ή την εξάσκηση άλλης δύναμews. Αντιθέτως, ο θερμικός διαχωρισμός διεξάγεται με θέρμανση του υλικού, ώστε να εξατμισθεί το περιεχόμενο υγρό. Δηλαδή, ένα μέρος της θερμότητας καταναλώνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού και το υπόλοιπο μέρος για την εξάτμιση του περιεχόμενου υγρού, ενώ η θέρμανση που συνοδεύει σε ορισμένες περιπτώσεις τους μηχανικούς διαχωρισμούς αποβλέπει μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού.

Κατά γενικό κανόνα, η δαπάνη για τη διεξαγωγή θερμικών διεργασιών στη βιομηχανία είναι μεγαλύτερη από τη δαπάνη των αντιστοίχων μηχανικών διεργασιών. Γι' αυτό, όταν η ποσότητα του υγρού που περιέχεται στο στερεό σώμα είναι σχετικά μεγάλη, είναι σκόπιμο να απομακρύνεται το μεγαλύτερο μέρος της με μια μηχανική διεργασία και να εφαρμόζεται στη συνέχεια η θερμική ξήρανση για την εξάτμιση των υπολοίπων ποσοτήτων του υγρού, που δεν μπορούν να αποσπασθούν με μηχανικά μέσα.

Ο φθηνότερος τρόπος για την ξήρανση των στερεών υλικών είναι η έκθεσή τους στο ύπαιθρο ή σε υπόστεγα, ώστε η υγρασία τους να εξατμισθεί με τη δράση του ανέμου και του ήλιου. Η απλή αυτή μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί για την

ξήρανση υλικών μικρής σχετικά αξίας και καθαρότητας, όπως το κάρβουνο και η άργιλος, για τα οποία είναι ανεκτή η αναπόφευκτη ρύπανση και η απώλεια που θα τους προκαλέσει η έκθεση στο ύπαιθρο.

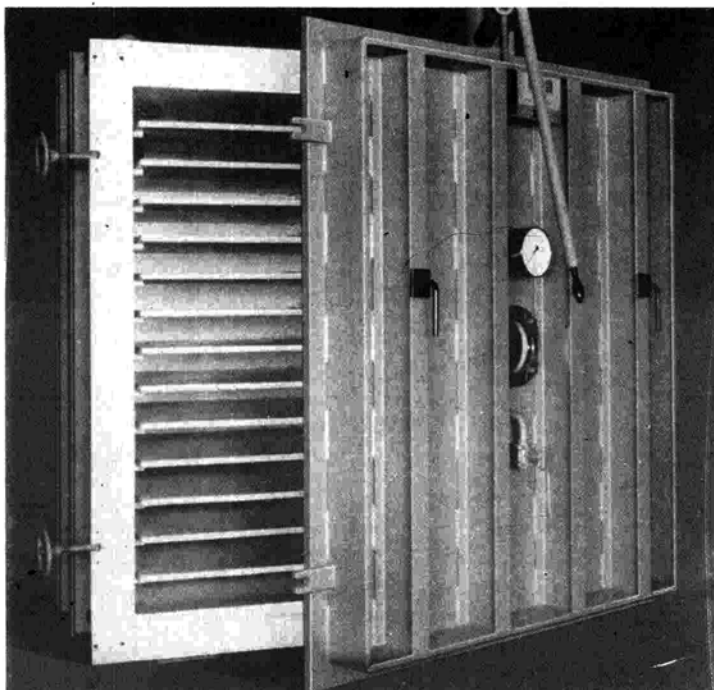
9.4.2 Άμεση και έμμεση ξήρανση.

Η τεχνητή θερμική ξήρανση είναι **άμεση**, με ανάμιξη του υλικού και θερμών αερίων, η **έμμεση**, με θέρμανση του υλικού δι' επαφής σε θερμαινόμενες επιφάνειες. Κατά την άμεση ξήρανση, η θερμοκρασία της βιομηχανικής συσκευής μπορεί να φτάσει μέχρι τους 700°C περίπου, που είναι το όριο χρησιμοποίησεως των κοινών χαλυβδίνων κατασκευών. Για τη διαξαγωγή πύρψεων σε υψηλότερες θερμοκρασίες τα τοιχώματα των βιομηχανικών συσκευών και των καμίνων κατασκευάζονται ή επενδύονται με κατάλληλα πυρίμαχα υλικά. Μέχρι τους 1700°C περίπου χρησιμοποιούνται πυρότουβλα από οξειδία αλουμινίου, πυριτίου ή μαγνησίου, ενώ τα ακριβά δύστηκτα μέταλλα ταντάλιο, μολυβδαίνιο, βολφράμιο καί τα κράματά τους αντέχουν μέχρι τους 3000-4000°C περίπου.

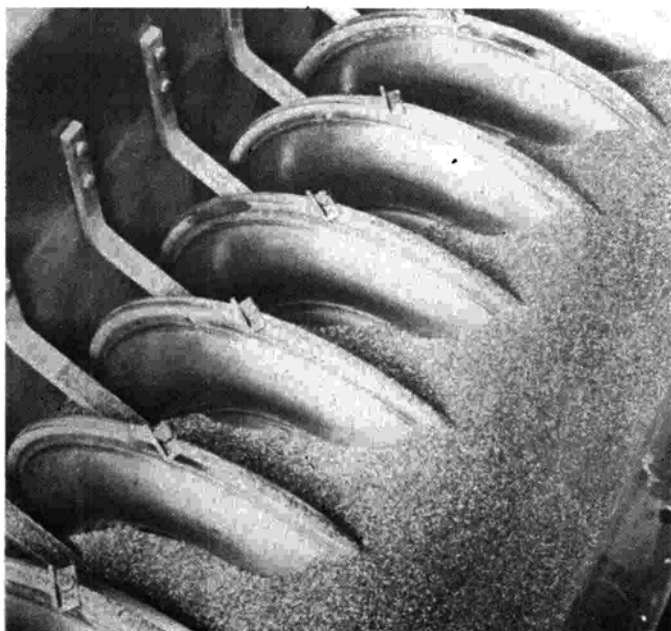
Στην έμμεση ξήρανση μέσω μεταλλικού τοιχώματος, η θερμοκρασία μπορεί να φθάσει μέχρι τους 300°C περίπου, όταν ο θερμικός φορέας που κυκλοφορεί στην άλλη πλευρά του τοιχώματος είναι υδρατμός ή θερμό νερό υπό πίεση, και μέχρι τους 500°C περίπου όταν είναι καυσαέρια. Με ηλεκτρική θέρμανση, που εφαρμόζεται σχετικά σπάνια λόγω του μεγαλύτερου κόστους της, η θερμοκρασία στη βιομηχανική συσκευή ξηράνσεως μπορεί να ρυθμισθεί σε οποιαδήποτε τιμή, μέχρι τους 3000°C περίπου.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της έμμεσης ξηράνσεως είναι η δυνατότητα δημιουργίας **αδρανούς ατμόσφαιρας**, καθώς και εφαρμογής **κενού** συγχόνως με τη θέρμανση των υλικών. Αδρανής ατμόσφαιρα σχηματίζεται όταν αντικατασταθεί ο αέρας, που περιβάλλει το υλικό στο εσωτερικό της βιομηχανικής συσκευής, με ένα μη δραστικό αέριο, όπως π.χ. το άζωτο. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται ο κίνδυνος των οξειδώσεων που θα μπορούσε να συμβούν σε ευαίσθητα υλικά, κυρίως οργανικές χημικές ουσίες, όπως τα χρώματα και τα φάρμακα, από την επίδραση του οξυγόνου του αέρα. Απομάκρυνση του αέρα, για τον ίδιο σκοπό, επιτυγχάνεται επίσης με τη σύνδεση της συσκευής με ένα σύστημα κενού, που αναρροφά συνεχώς από το χώρο της ξηράνσεως τον αέρα και τους εκλυόμενους ατμούς. Κενό εφαρμόζεται επίσης όταν πρέπει να διεξαχθεί η ξήρανση σε χαμηλή σχετικά θερμοκρασία, ώστε να μην υποστούν αλλοιώσεις τα θερμοευαίσθητα υλικά, ή όταν απαιτείται η πληρέστερη δυνατή ξήρανση των υλικών, καθώς και όταν επιδιώκεται η ανάκτηση των εκλυομένων κατά την ξήρανση ατμών (π.χ. διαλύτη).

Κατάλληλα για εφαρμογή κενού είναι τα **ξηραντήρια με ράφια** (σχ. 9.4α). Το υλικό τοποθετείται σε ερμάρια που κλείνουν αεροστεγώς και συνδέονται με αντλία κενού. Τα πλευρά και τα ράφια των ερμαρίων έχουν διπλά τοιχώματα και θερμαίνονται με κυκλοφορία υδρατμού στο εσωτερικό των τοιχωμάτων. Χαρακτηριστική διαφορά των ξηραντηρίων με ράφια, σε σύγκριση με τους άλλους τύπους ξηραντηρίων, είναι ότι κατά τη διεξαγωγή της ξηράνσεως το υλικό παραμένει ακίνητο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ξηραντήρια με ράφια, χωρίς όμως την εφαρμογή κενού, που είναι περιττό, για την ξήρανση εύθραυστων υλικών, όπως π.χ. τα κεραμικά αντικείμενα.



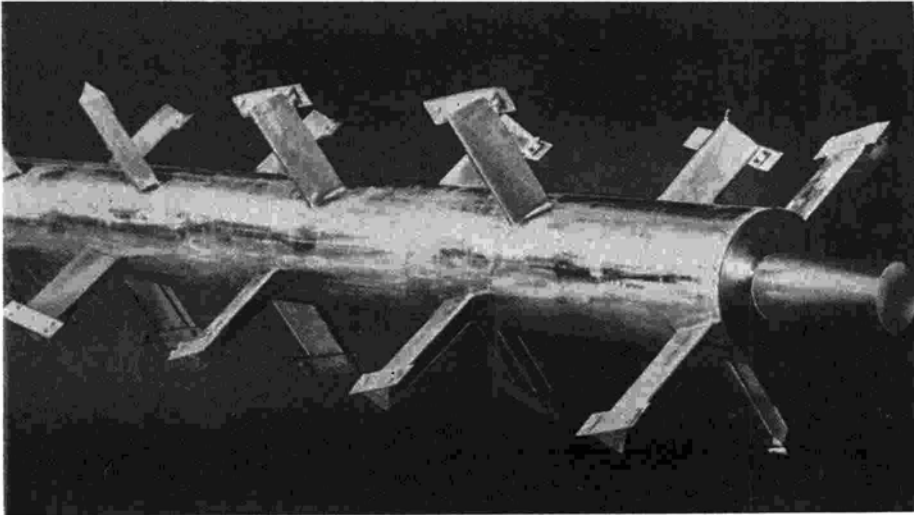
Σχ. 9.4α.
Ξηραντήριο με ράφια.



Σχ. 9.4β.
Ξηραντήριο τύπου σκάφης με περιστρεφόμενους δίσκους.

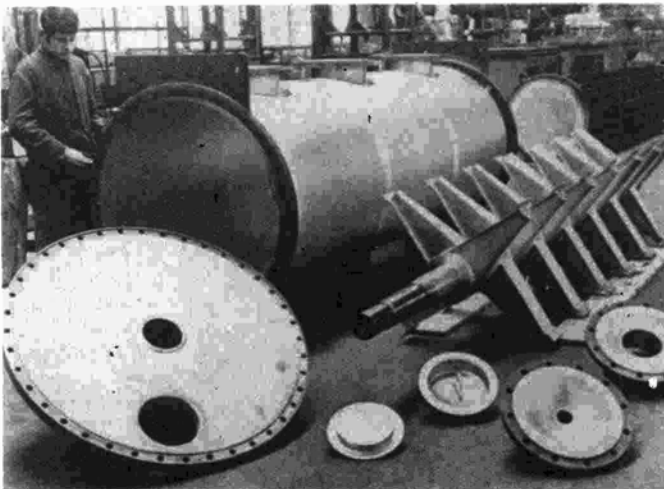
9.4.3 Περιστροφικά ξηραντήρια.

Ανακίνηση του υλικού κατά την ξήρανση γίνεται στα ξηραντήρια με **περιστρεφόμενο άξονα** και στα **περιστροφικά ξηραντήρια**. Στο σχήμα 9.4β το υλικό είναι τοποθετημένο σε μία σκάφη, μέσα στην οποία περιστρέφεται ένας άξονας με προσαρμοσμένους δίσκους. Τα πλευρά της σκάφης και οι περιστρεφόμενοι δίσκοι έχουν διπλά τοιχώματα, στα οποία κυκλοφορεί θερμός υδρατμός. Αντί για δίσκους, μπορούν επίσης να προσαρμοσθούν στον περιστρεφόμενο άξονα θερμαινόμενοι βραχίονες (σχ. 9.4γ). Για τη διεξαγωγή της ξηράνσεως υπό κενό, η σκάφη αντικαθίσταται από οριζόντιο κυλινδρικό δοχείο, που κλείνει στεγανά (σχ. 9.4δ).



Σχ. 9.4γ.

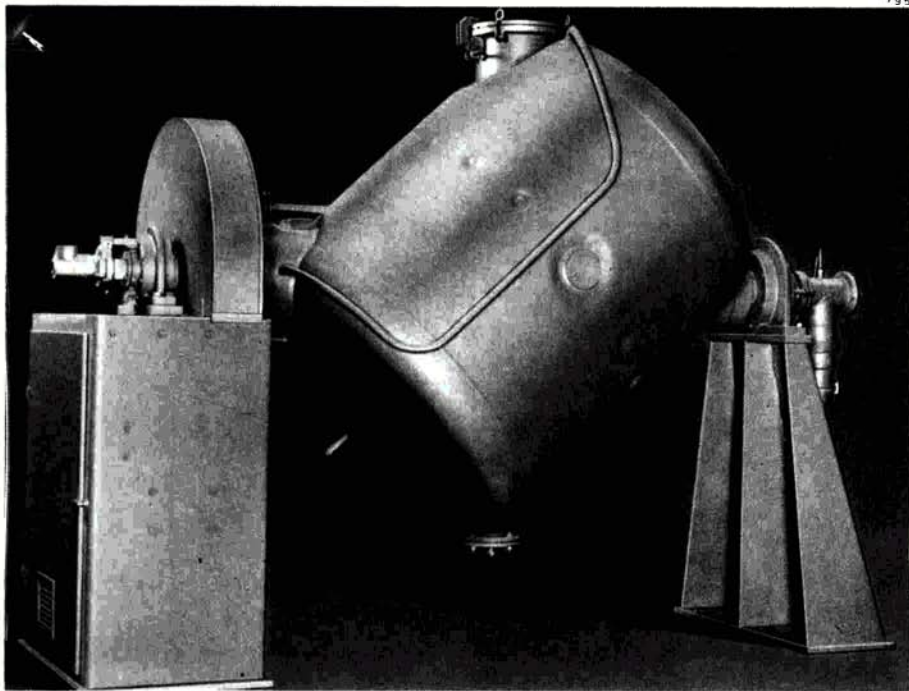
Περιστρεφόμενος άξονας ξηραντηρίου με θερμαινόμενους βραχίονες.



Σχ. 9.4δ.

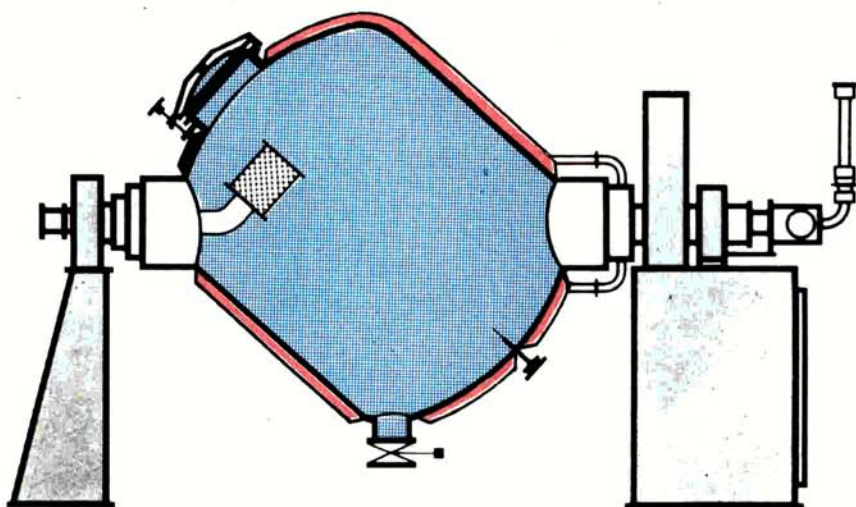
Αποσυαρμολογημένο ξηραντήριο κενού χωρητικότητας 2,5m³.

Η θέρμανση γίνεται έμμεσα με κυκλοφορία ατμού στο μανδύα του κυλίνδρου και στο εσωτερικό των βραχιόνων του άξονα.



Σχ. 9.4ε.

Περιστροφικό ξηραντήριο σχήματος βαρελιού.

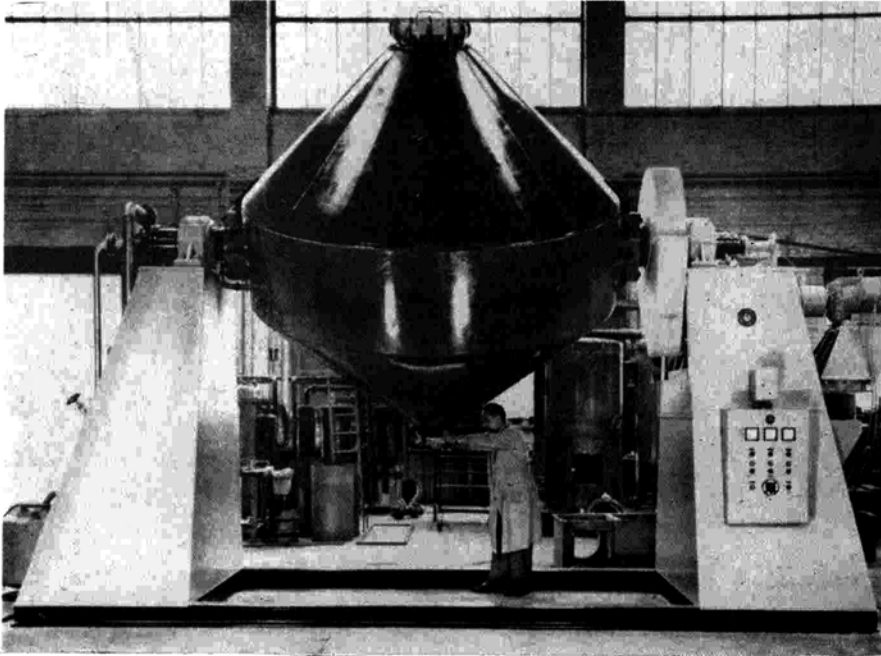


Σχ. 9.4στ.

Η λειτουργία του ξηραντηρίου του σχήματος 9.4ε.

Αριστερά είναι η σύνδεση με το σύστημα κενού. Δεξιά είναι η τροφοδοσία ατμού στο θερμαντικό μανδύα του δοχείου.

Υπό κενό επίσης λειτουργεί το περιστροφικό ξηραντήριο του σχήματος 9.4ε. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό δοχείο σχήματος βαρελιού, στο οποίο εισάγεται το στερεό υλικό και αναδεύεται κατά την περιστροφή του δοχείου. Η θέρμανση διεξάγεται και εδώ με κυκλοφορία υδρατμού στον εξωτερικό μανδύα (σχ. 9.4στ).



Σχ. 9.4ζ.

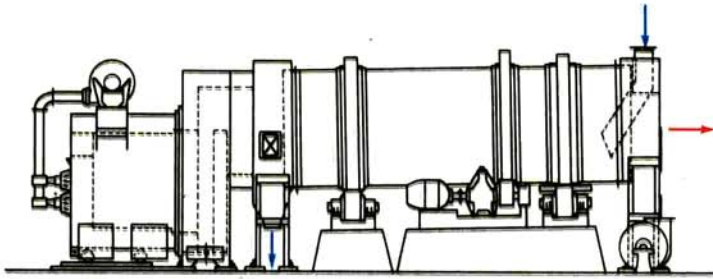
Περιστροφικό ξηραντήριο σχήματος διπλού κώνου.

Διακρίνονται στο αριστερό έδρανο οι σωληνώσεις συνδέσεως του δοχείου με το σύστημα κενού και τον ατμό.

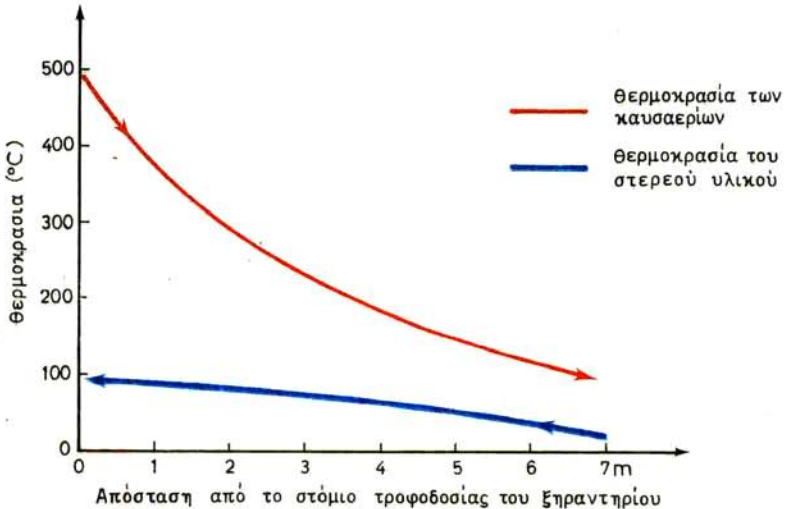
Με όμοιο τρόπο λειτουργεί και το ξηραντήριο διπλού κώνου του σχήματος 9.4ζ.

Τα περιστροφικά ξηραντήρια που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι έμμεσης θερμάνσεως. Άμεση θέρμανση εφαρμόζεται στο περιστροφικό ξηραντήριο συνεχούς λειτουργίας του σχήματος 9.4η. Αριστερά είναι η εστία καύσεως του πετρελαίου, τα δε καυσαέρια διασχίζουν τον περιστρεφόμενο κύλινδρο του ξηραντηρίου και εξέρχονται από το δεξιό του άκρο. Ο κύλινδρος έχει στην περίμετρο μεγάλες στεφάνες, με τις οποίες κυλά επάνω στα ράουλα εδράσεως. Η περιστροφική κίνηση δίνεται από ένα ηλεκτροκινητήρα, μέσω οδοντωτού τροχού.

Το υλικό τροφοδοτείται στο δεξιό άκρο του κυλίνδρου και εξέρχεται στο αριστερό άκρο του. Κατά τη διαδρομή του μέσα στον κύλινδρο, κατ' αντιρροή προς τα καυσαέρια, θερμαίνεται από αυτά και ξηραίνεται. Συγχρόνως επέρχεται ψύξη των καυσαερίων ώστε όταν φτάνουν στο άκρο του κυλίνδρου να έχουν αποδώσει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητάς τους (σχ. 9.4θ). Άμέσως μετά την έξοδό τους από το ξηραντήριο, τα καυσαέρια διαβιβάζονται σε κυκλώνες, για την κατακράτηση της σκόνης του ξηρού υλικού που παρασύρουν (σχ. 9.4ι).



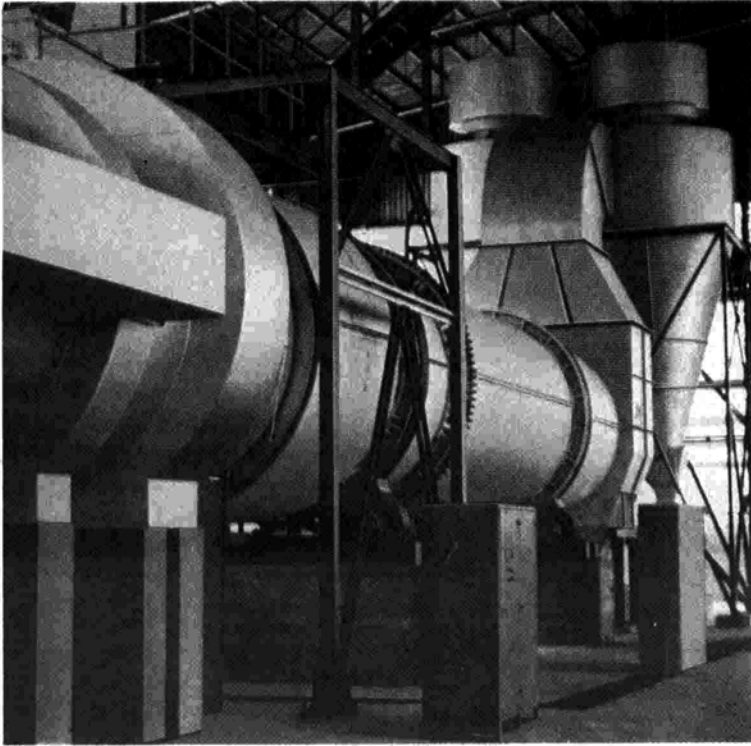
Σχ. 9.4η.
Κυλινδρικό περιστροφικό ξηραντήριο συνεχούς λειτουργίας.



Σχ. 9.4θ.
Η μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων και του στερεού υλικού κατά μήκος του κυλίνδρου ενός περιστροφικού ξηραντηρίου μήκους 7 m.

Στα περισσότερα περιστροφικά ξηραντήρια, για τη διευκόλυνση της κινήσεως του υλικού, ο κύλινδρος τοποθετείται συνήθως με κλίση 2° έως 4° . Η ταχύτητα περιστροφής του είναι μικρή (1 έως 5 στροφές το λεπτό). Συχνά προσαρμόζονται περύγια στο εσωτερικό του κυλίνδρου, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ανακίνηση του υλικού και πληρέστερη επαφή με τα καυσαέρια (σχ. 9.4ια).

Ένας διαφορετικός τύπος περιστροφικού ξηραντηρίου εικονίζεται στο σχήμα 9.4ιβ. Χρησιμοποιείται για την ξήρανση πολτών και λειτουργεί κατά τρόπο ανάλογο με το περιστροφικό φίλτρο κενού, που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.



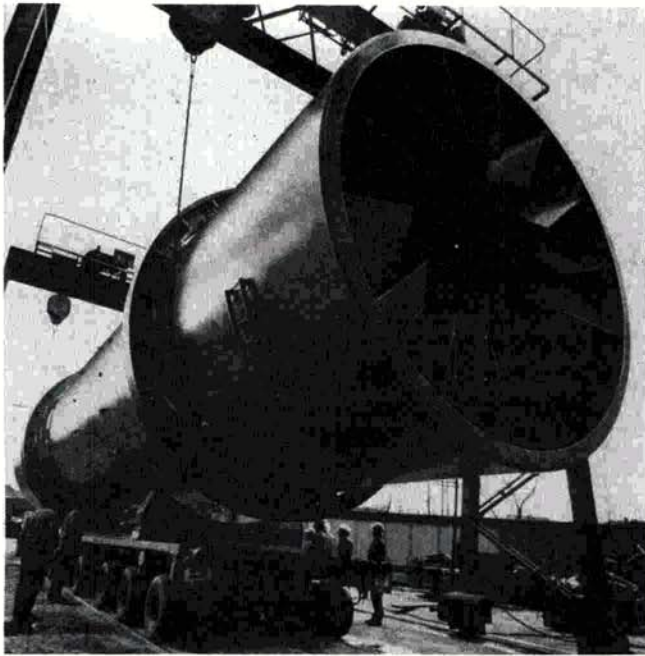
Σχ. 9.4ι.

Κυλινδρικό περιστροφικό ξηραντήριο, όπως του σχήματος 9.4η, με δύο κυκλώνες για την κατακράτηση της σκόνης από τα καυσαέρια. Διακρίνονται οι στεφάνες κυλίσεως και ο οδοντωτός τροχός περιστροφής του κυλίνδρου.

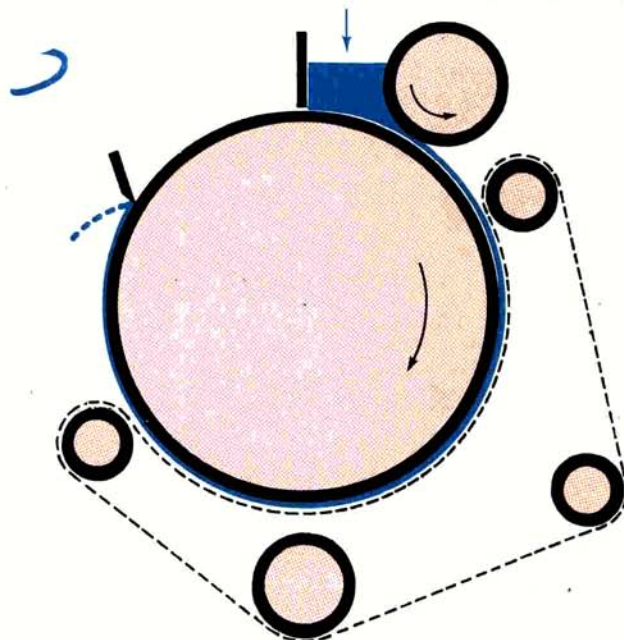
λαιο. Η τροφοδοσία του υλικού γίνεται στην εξωτερική αυλακωτή επιφάνεια ενός τυμπάνου και συγκρατείται επάνω της με μια κινητή ταινία από μεταλλικό πλέγμα και μια σειρά από κυλίνδρους. Το τύμπανο και οι κύλινδροι θερμαίνονται εσωτερικά με υδρατμό. Η ταχύτητα του τυμπάνου ρυθμίζεται έτσι, ώστε να συμπληρώνεται η ξήρανση του υλικού στο χρονικό διάστημα μιας περιστροφής του. Το ξηρό υλικό αποσπάται από την επιφάνεια του τυμπάνου με επίμηκες ξέστρο (σχ. 9.4ιγ). Το ξηραντήριο κατασκευάζεται επίσης για λειτουργία υπό κενό, μέσα σε στεγανό κουβούκλιο (σχ. 9.4ιδ).

9.4.4 Ξηραντήρια σήραγγας.

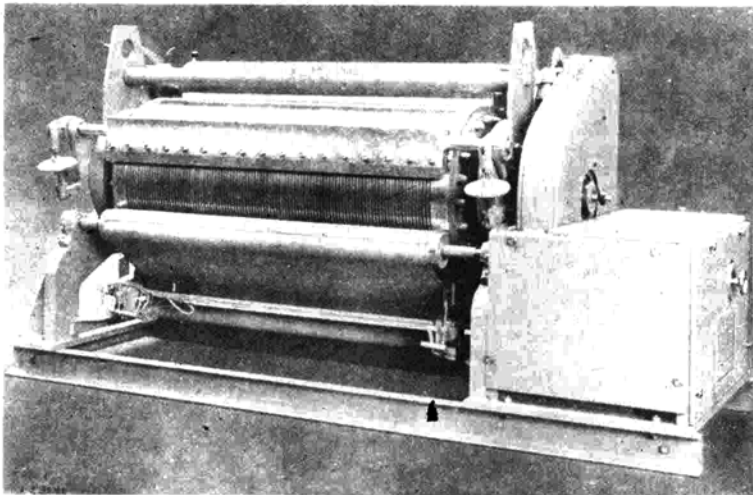
Στο σχημα 9.4ιε εικονίζεται ένα ξηραντήριο, που αποτελείται από μία θερμαινόμενη σήραγγα, κατά μήκος της οποίας μεταφέρεται το υλικό επάνω σε μια μεταφορική ταινία. Όταν το υλικό είναι ελαφρό και κοκκώδες, η ταινία κατασκευάζεται από μεταλλικό πλέγμα (σχ. 9.4ιστ), όταν είναι βαρύ και πολτώδες κατασκευάζεται από μεταλλικές πλάκες για να αντέχει στο αυξημένο φορτίο (σχ. 9.4ιζ). Σε ειδικές περιπτώσεις και συγκεκριμένα στην ξήρανση υφασμάτων ύστερα από το βάψιμο ή το πλύσιμο στο εργοστάσιο, το ίδιο το υλικό μεταφέρεται επάνω σε ράουλα κατά μήκος της θερμαινόμενης σήραγγας (σχ. 9.4ιη).



Σχ. 9.4α.
Πτερυγοφόρος κύλινδρος ενός περιστροφικού ξηραντήριου.

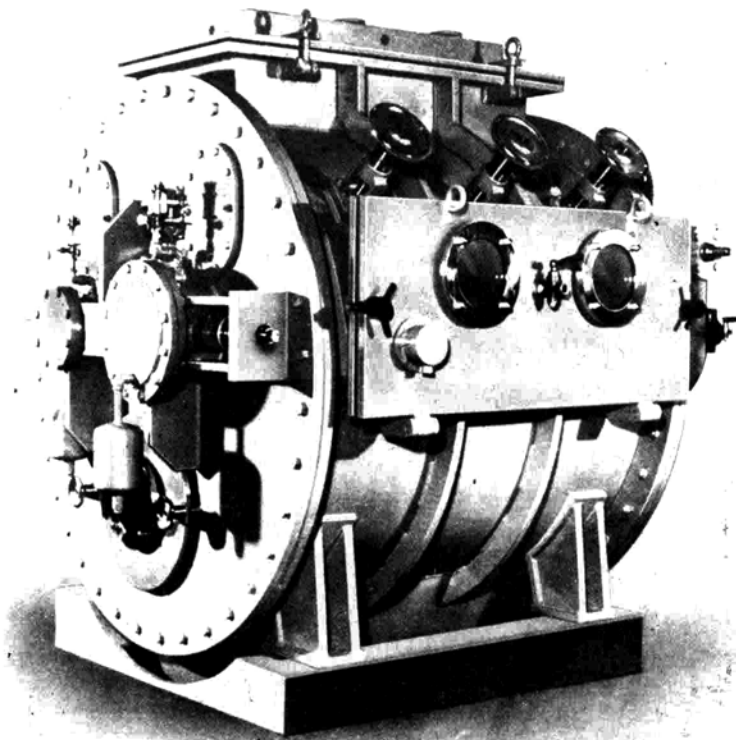


Σχ. 9.4β.
Περιστροφικό ξηραντήριο τυμπάνου για υλικά σε μορφή πολτού.



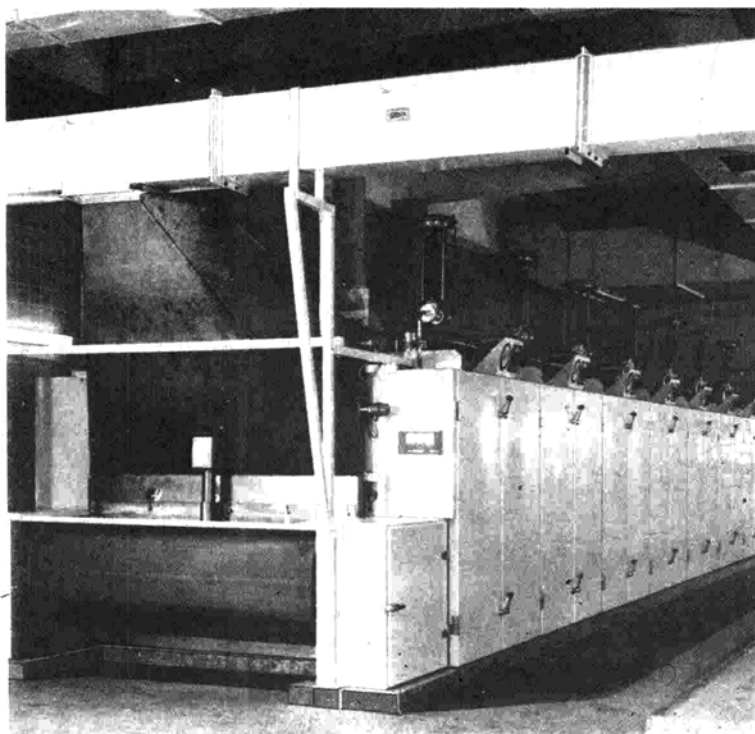
Σχ. 9.4ιγ.

Φωτογραφία του ξηραντηρίου τυμπάνου του σχήματος 9.4ιβ.



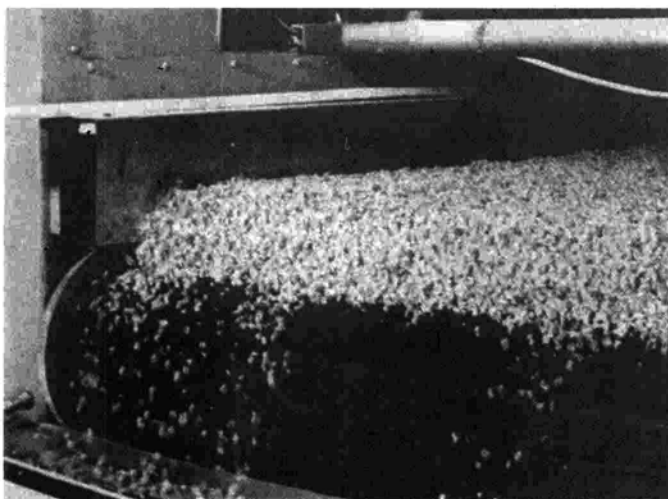
Σχ. 9.4ιδ.

Περιστροφικό ξηραντήριο τυμπάνου σε στεγανό κουβούκλιο για λειτουργία υπό κενό.



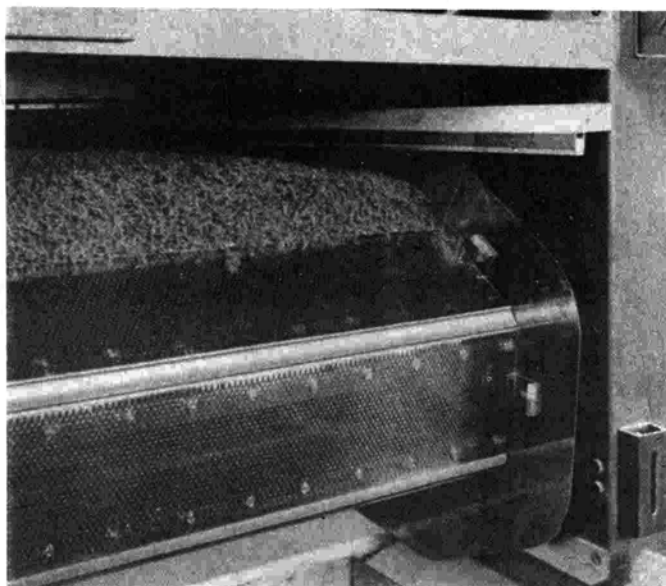
Σχ. 9.4ιε.

Ξηραντήριο τύπου σήραγγας με μεταφορική ταινία.



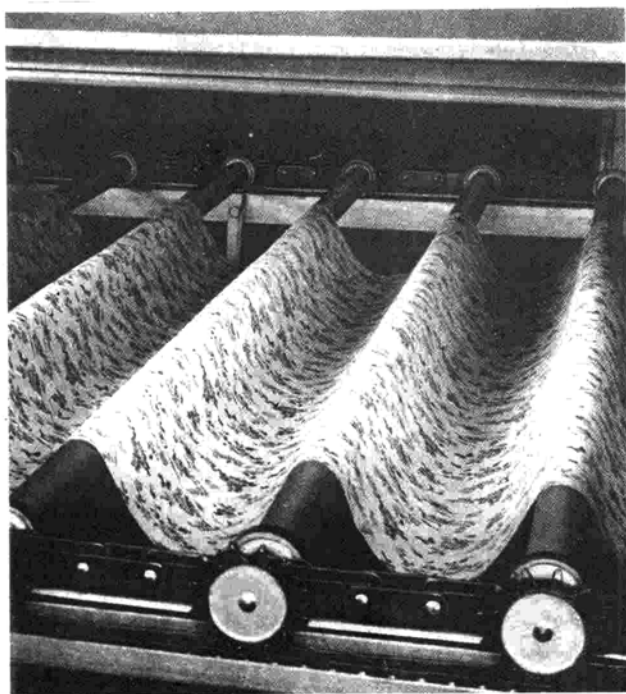
Σχ. 9.4ιστ.

Μεταφορική ταινία ξηραντηρίου από μεταλλικό πλέγμα για φορτία μέχρι 30 kg/m^2 .



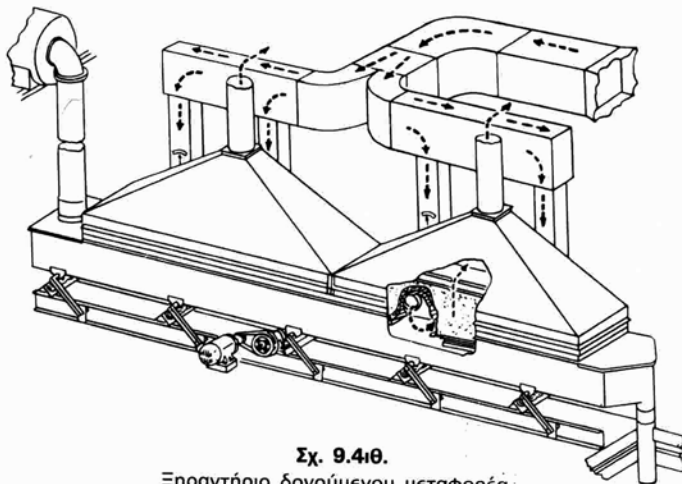
Σχ. 9.4ζ.

Μεταφορική ταινία ξηραντηρίου από μεταλλικές πλάκες για φορτία μέχρι 80 kg/m^2 .

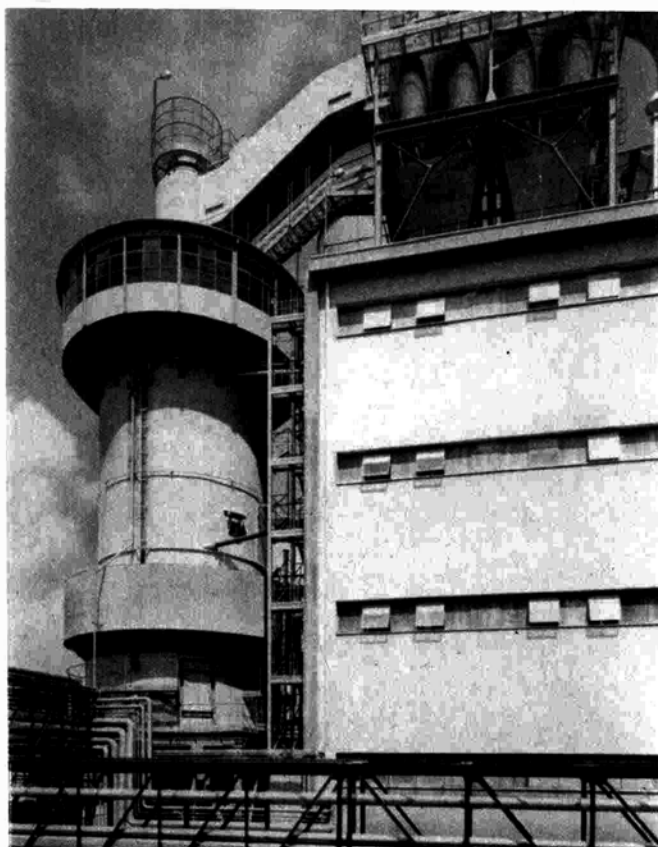


Σχ. 9.4η.

Ήπιο στέγνωμα υφάσματος σε περιστρεφόμενα ράουλα κατά μήκος της σήραγγας ενός ξηραντηρίου.



Σχ. 9.4θ.
Ξηραντήριο δονούμενου μεταφορέα.



Σχ. 9.4κ.
Ξηραντήριο εκνεφώσεως για την παραγωγή 8 t/h συνθετικών απορροπαντικών σε σκόνη. Επάνω δεξιά διακρίνονται τέσσερις κυκλόνες για την κατακράτηση της σκόνης, που παρασύρουν τα αέρια έξω από τον πύργο του ξηραντηρίου.

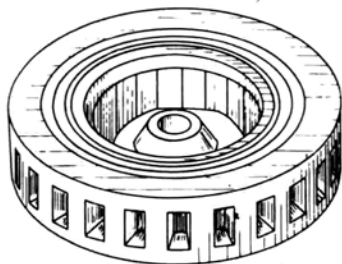
Ομοιότητα με το ξηραντήριο σήραγγας μεταφορικής ταινίας παρουσιάζει το **ξηραντήριο δονούμενου** μεταφορέα του σχήματος 9.4ιβ. Η ξήρανση του υλικού γίνεται με το θερμό αέρα που κυκλοφορεί στο μεταφορέα, καθώς αυτό μεταφέρεται από το ένα άκρο στο άλλο.

9.4.5 Ξηραντήρια εκνεφώσεως.

Εντελώς διαφορετική είναι η λειτουργία του **ξηραντηρίου εκνεφώσεως** του σχήματος 9.4κ. Αποτελείται από ένα μεγάλο πύργο, στην κορυφή του οποίου ψεκάζεται ένα αραιό υδατικό διάλυμα του υλικού και αναμιγνύεται με μεγάλες ποσότητες θερμών αερίων. Τα θερμά αέρια παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα για την πλήρη εξάτμιση του νερού του διαλύματος και την παραλαβή του διαλυμένου σώματος σε μορφή κόκκων, που πέφτουν στη βάση του πύργου. Οι λεπτότεροι κόκκοι παρασύρονται από τα αέρια έξω από τον πύργο και κατακρατούνται σε κυκλώνες, σακκόφιλτρα ή ηλεκτρόφιλτρα.

Απαιράιτητη προϋπόθεση για την επιτυχία της παραπάνω ξηράνσεως είναι η πλήρης εκνέφωση του διαλύματος καθώς ψεκάζεται στον πύργο. Για το σκοπό αυτό είτε γίνεται εκτόξευση του διαλύματος σε λεπτά ακροφύσια, διαμέτρου 1 mm περίπου, με πίεση μέχρι 500 at, είτε διασκορπίζεται αυτό σε μικρές σταγόνες από περιστρεφόμενους διασκορπιστήρες (σχ. 9.4κα).

Η ξήρανση με εκνέφωση χρησιμοποιείται κυρίως για ευαίσθητα προϊόντα, γιατί παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας ξηράνσεως και του πολύ μικρού χρόνου παραμονής του υλικού στη θερμοκρασία αυτή. Οι σημαντικότερες εφαρμογές της είναι στην παραγωγή συνθετικών απορρυπαντικών, χρωστικών υλών, φαρμάκων και διαφόρων τροφίμων, όπως οι σκόνες γάλατος, καφέ και αυγών.



Σχ. 9.4κα.

Περιστρεφόμενος διασκορπιστήρας εκνεφώσεως διαλυμάτων.

9.5 Η απόσταξη των υγρών.

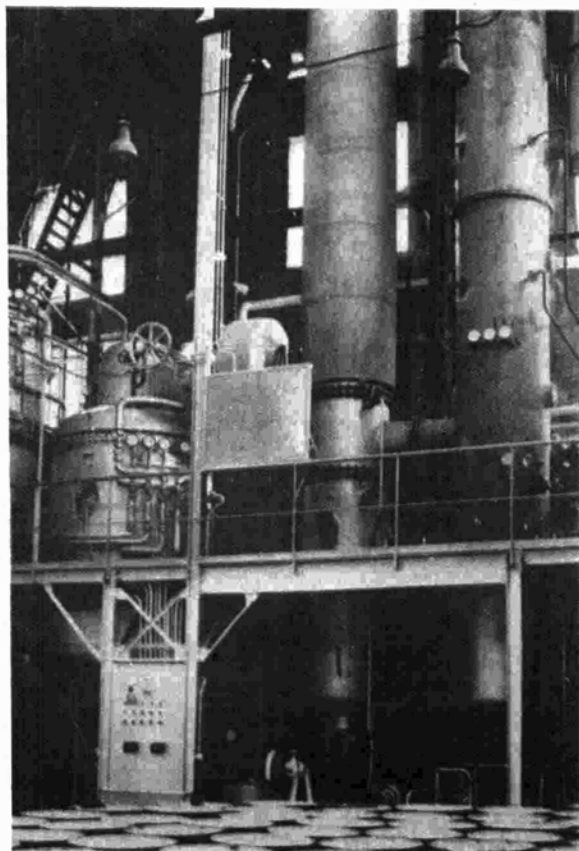
9.5.1 Γενικά.

Στα κεφάλαια 7 και 8 γνωρίσαμε ένα πλήθος μεθόδων διαχωρισμού των συστατικών των μιγμάτων με μεσολάβηση διαχωριστικών ουσιών ή με την κατανάλωση ενέργειας υπό διάφορες μορφές. Δύο άλλες πολύ σημαντικές βιομηχανικές

μέθοδοι διαχωρισμού, που στηρίζονται στην εξάτμιση υγρών με κατανάλωση θερμότητας, είναι η **απόσταξη** και η **κρυστάλλωση**.

Με την απόσταξη επιδιώκεται ο διαχωρισμός των συστατικών ενός υγρού μίγματος με εξάτμιση και επανυγροποίηση ορισμένων από τα συστατικά του. Το υγρό μίγμα θερμαίνεται σε ένα κλειστό δοχείο, το **λέβητα αποστάξεως**, και οι σχηματιζόμενοι ατμοί του πτητικότερου συστατικού, δηλαδή εκείνου με το χαμηλότερο σημείο βρασμού, που εξατμίζεται ευκολότερα, απομακρύνονται από το λέβητα και οδηγούνται σε εναλλάκτες θερμότητας, όπου ψύχονται και υγροποιούνται σχηματίζοντας το **απόσταγμα**. Τα λιγότερο πτητικά συστατικά του μίγματος παραμένουν στο λέβητα ως **υπόλειμμα της αποστάξεως**.

Συχνά η απόσταξη διευκολύνεται με διαβίβαση θερμών υδρατμών στη μάζα του υγρού μέσα στο λέβητα αποστάξεως, για να παρασύρουν τα πτητικά συστατικά, καθώς και με εφαρμογή κενού για να επιτυγχάνεται η εξάτμιση των υγρών σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Π.χ. ο καθαρισμός της ακάθαρτης γλυκερίνης διεξάγεται με θέρμανση στους 168°C υπό κενό 10 Torr με διαβίβαση θερμών υδρατμών. Η γλυκερίνη αποστάζει με τους υδρατμούς και συλλέγεται με καθαρότητα 97-98% (σχ. 9.5α).

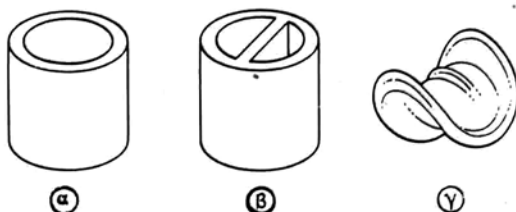


Σχ. 9.5α.

Εγκατάσταση αποστάξεως 12 t γλυκερίνης την ημέρα. Αριστερά είναι ο λέβητας αποστάξεως και δεξιά δύο διαδοχικοί κατακόρυφοι εναλλάκτες θερμότητας για την επανυγροποίηση της καθαρής γλυκερίνης.

9.5.2 Κλασματική απόσταξη.

Στην **κλασματική απόσταξη** ή **κλασμάτωση** προκαλείται εξάτμιση των συστατικών του υγρού μίγματος και οι σχηματιζόμενοι ατμοί ανέρχονται προς τα ανώτερα και ψυχρότερα τμήματα μιας κατακόρυφης στήλης. Εκεί υγροποιούνται τα λιγότερο πτητικά συστατικά και επιστρέφουν προς τα κατώτερα τμήματα της στήλης σε αντιρροή προς τον ανερχόμενο ατμό. Το σχετικά ψυχρότερο υγρό προκαλεί την υγροποίηση των λιγότερο πτητικών συστατικών του ατμού με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση της συστάσεώς του στα διάφορα τμήματα της στήλης, ανάλογα με το σημείο βρασμού που αντιστοιχεί στη σύσταση που αποκτά στη θέση αυτή. Για την καλύτερη επαφή μεταξύ του ανερχόμενου ατμού και του κατερχόμενου υγρού, η αποστακτική στήλη κατασκευάζεται με διάτρητους δίσκους ή φορτώνεται με πληρωτικό υλικό (σχ. 9.5β) όπως στους πύργους απορροφήσεως και εκχυλίσεως που γνωρίσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια.



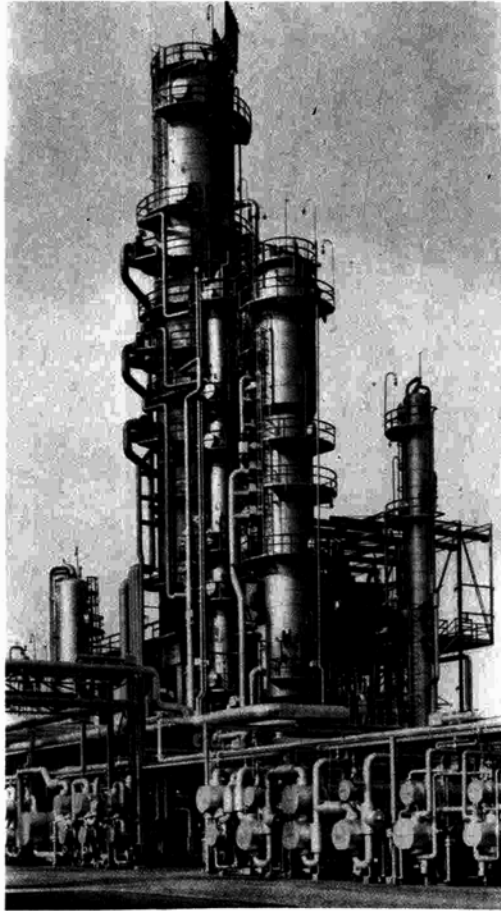
Σχ. 9.5β.

Διάφορες μορφές αντικειμένων από πορσελλάνη, που χρησιμοποιούνται σαν πληρωτικό υλικό στις αποστακτικές στήλες: α) Δακτύλιοι Ράσιγκ. β) Δακτύλιοι Λέσιγκ. γ) Σχήμα σέλλας.

Βλέπουμε ότι η απόσταξη είναι μια διεργασία που παρουσιάζει πολλές ομοιότητες ιδίως με την εκχύλιση υγρών πρώτων υλών και διεξάγεται σε όμοιες βιομηχανικές συσκευές. Και οι δύο διεργασίες επιδιώκουν το διαχωρισμό των υγρών μιγμάτων. Η απόσταξη όμως φαίνεται στην αρχή σαν πλεονεκτικότερη, γιατί ξεχωρίζει αμέσως το ένα συστατικό στο απόσταγμα, ενώ η εκχύλιση δίνει στο εκχύλισμα μίγμα πάλι του συστατικού με το διαλύτη, που πρέπει να διαχωρισθεί με νέα διεργασία. Πάντως, η επιλογή της αποστάξεως ή της εκχυλίσεως εξαρτάται τελικά από τη σύσταση του μίγματος, τις ιδιότητες των διαφόρων συστατικών και τα οικονομικά κριτήρια.

Π.χ. ο διαχωρισμός του οξικού οξέος από αραιό υδατικό διάλυμα με απόσταξη απαιτεί την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων νερού και συνεπάγεται σημαντικές δαπάνες, λόγω του μεγάλου ποσού θερμότητας που πρέπει να καταναλωθεί. Αντιθέτως, η εκχύλιση του διαλύματος με οξικό αιθυλεστέρα ως διαλύτη και ο διαχωρισμός στη συνέχεια του οξικού οξέος από τον οξικό αιθυλεστέρα με απόσταξη, αποτελεί πολύ φθηνότερη λύση.

Η σημαντικότερη βιομηχανική κλασματική απόσταξη διεξάγεται για το διαχωρισμό των συστατικών του φυσικού πετρελαίου σε μια σειρά από χρήσιμα προϊόντα με διαφορετικά σημεία βρασμού (σχ. 9.5γ). Συγκεκριμένα, αποστάζουν υπό ατμοσφαιρική πίεση και από διάφορα ύψη της αποστακτικής στήλης τα υγραέρια, η βεν-



Σχ. 9.5γ.

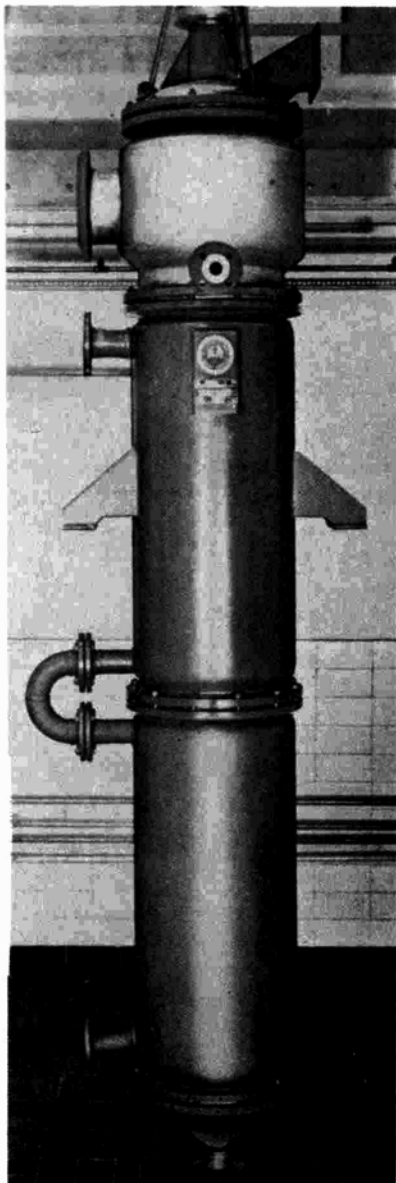
Στήλη κλασματικής αποστάξεως φυσικού πετρελαίου υπό ατμοσφαιρική πίεση, ετήσιας ικανότητας 1.600.000 τόννων. Δίπλα στην κυρίως στήλη είναι διάφοροι εναλλάκτες θερμότητας και βοηθητικές στήλες για πληρέστερο διαχωρισμό της βενζίνης, της κηροζίνης και του πετρελαίου ντήζελ. Στο βάθος αριστερά διακρίνεται η στήλη αποστάξεως υπό κενό.

ζίνη, η κηροζίνη και το πετρέλαιο ντήζελ, ενώ απομένει ένα υπόλειμμα της αποστάξεως που, είτε χρησιμοποιείται ως βαρύ πετρέλαιο εξωτερικής καύσεως (μαζούτ), είτε μεταφέρεται σε άλλη αποστακτική στήλη, που λειτουργεί υπό κενό 30 έως 60 Torr περίπου. Εκεί αποστάζουν διάφορα κλάσματα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των λιπαντελαίων και παραμένει ως τελικό υπόλειμμα η άσφαλτος.

9.5.3 Απόσταξη ευαίσθητων υγρών.

Στο σχήμα 9.5δ εικονίζεται ένας **εξατμιστήρας λεπτής στιβάδας**, όπου ο διαχωρισμός των πτητικών από τα μη πτητικά συστατικά των υγρών μιγμάτων στηρίζε-

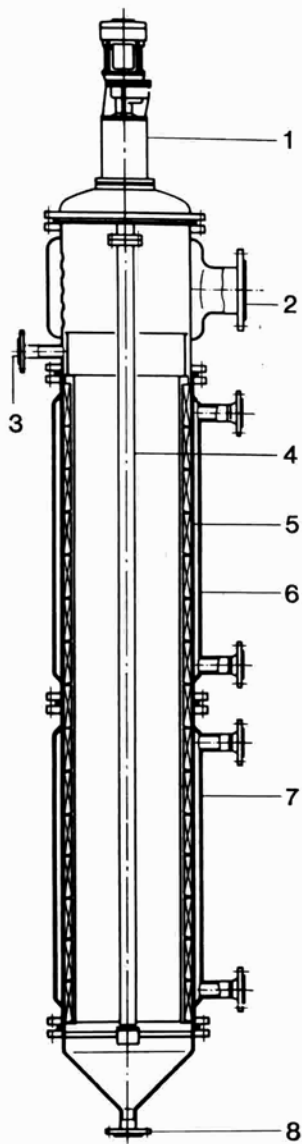
ται σε διαφορετική αρχή λειτουργίας από τις παραπάνω μεθόδους αποστάξεως. Ο εξατμιστήρας αποτελείται από ένα κατακόρυφο κυλινδρικό δοχείο με εξωτερικό θερμαντικό μανδύα και εσωτερικό περιστρεφόμενο άξονα, στον οποίο είναι στερεωμένες πολλές παράλληλες ράβδοι με προσαρμοσμένα πλαστικά πτερύγια (σχ. 9.5ε). Το υγρό μίγμα τροφοδοτείται στο άνω τμήμα του δοχείου, εκτινάσσεται στα


Σχ. 9.5δ.

Εξατμιστήρας λεπτής στιβάδας ύψους 2700 mm, εξωτερικής διαμέτρου 520 mm και θερμαινόμενης επιφάνειας 3,5 m².


Σχ. 9.5ε.

Προσαρμογή των πλαστικών πτερυγίων στις ράβδους του περιστρεφόμενου άξονα ενός εξατμιστήρα λεπτής στιβάδας.



Σχ. 9.5στ.

Τομή σε ένα εξατμιστήρα λεπτής στιβάδας.

- 1) Ηλεκτροκινητήρας. 2) Στόμιο εξαγωγής των ατμών του πτητικού συστατικού. 3) Στόμιο τροφοδοσίας του διαλύματος. 4) Περιστερόμενος άξονας. 5) Θερμαινόμενη επιφάνεια. 6) και 7) Θερμαντικοί μανδύες. 8) Στόμιο εξαγωγής του υπολείμματος της εξατμίσεως.

θερμαινόμενα τοιχώματα και τα περιστρεφόμενα πτερύγια το απλώνουν επάνω στην επιφάνεια των τοιχωμάτων, σε μορφή λεπτής στιβάδας. Τα πητικότερα συστατικά εξατμίζονται αμέσως λόγω της ακαριαίας θερμάνσεως της στιβάδας, ενώ τα λιγότερο πητικά συστατικά παραμένουν υγρά, κατέρχονται προς τα κάτω και εξαγονται από ένα στόμιο στον πυθμένα του δοχείου (σχ. 9.5στ). Όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση των ξηραντηρίων εκνεφώσεως, ο εξατμιστήρας λεπτής στιβάδας είναι κατάλληλος για την απόσταξη υγρών ευαισθήτων στη θερμότητα, γιατί παραμένουν λίγα μόνο δευτερόλεπτα στη θερμή ζώνη της συσκευής. Με εφαρμογή κενού στον εξατμιστήρα, αν είναι ανάγκη, μπορεί να πραγματοποιηθεί η απόσταξη των ευαισθήτων ουσιών σε σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία από το κανονικό σημείο βρασμού τους υπό ατμοσφαιρική πίεση.

9.6 Η κρυστάλλωση των διαλυμάτων.

9.6.1 Γενικά.

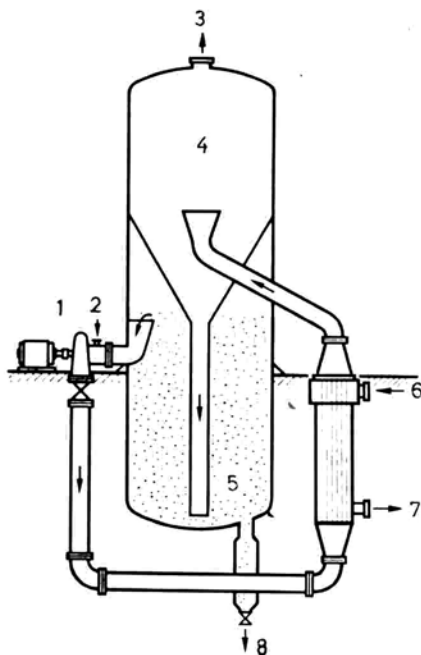
Εκτός από την απόσταξη για το διαχωρισμό των υγρών η εξάτμιση αποτελεί επίσης συνήθως, το μέσο για την **κρυστάλλωση** των διαλυμάτων, δηλαδή την ανάκτηση των διαλυμένων στερεών.

Αν εξατμισθεί ένα μέρος του διαλύτη από ένα διάλυμα στερεού σώματος, θα αυξηθεί προφανώς αντίστοιχα η περιεκτικότητα του σώματος στο υπόλοιπο διάλυμα. Η ποσότητα του νερού N που χρειάζεται να εξατμισθεί από μία ποσότητα διαλύματος M kg περιεκτικότητας π_1 % σε ένα στερεό σωμα, ώστε να αυξηθεί η περιεκτικότητα στο σώμα αυτό σε π_2 %, δίνεται από τη σχέση:

$$N = \left(M \frac{\pi_1 - \pi_2}{\pi_2} \right) \text{ kg}$$

Με τη συνέχιση της εξατμίσεως το διάλυμα θα γίνει πρώτα κορεσμένο, θα φθάσει δηλαδή το π_2 στο όριο της διαλυτότητας του σώματος, και μετά θα γίνει υπέρκορο και θα αρχίσει η αποβολή του στερεού σώματος με τη μορφή κρυστάλλων. Το σχήμα 9.6α δείχνει την παραπάνω διεργασία. Το διάλυμα θερμαίνεται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας και διοχετεύεται σε ένα κατακόρυφο κρυσταλλωτήρα, όπου εξατμίζεται ένα μέρος του διαλύτη. Οι κρύσταλοι που αποβάλλονται όταν το διάλυμα γίνει υπέρκορο, πέφτουν προς τον πυθμένα του κρυσταλλωτήρα, εξαγονται σε αιώρημα μαζί με διάλυμα από ένα στόμιο και αποχωρίζονται στη συνέχεια σε άλλες συσκευές, με διήθηση ή φυγοκέντριση και ξήρανση. Η διατήρηση του διαλύματος σε υψηλή θερμοκρασία εξασφαλίζεται με συνεχή ανακυκλοφορία μέσω του εναλλάκτη.

Εξ άλλου, αν σε ένα πυκνό διάλυμα η διαλυτότητα του διαλυμένου στερεού σώματος ελαττώνεται σημαντικά με τη μείωση της θερμοκρασίας, η μετατροπή του σε υπέρκορο και η αποβολή του διαλυμένου σώματος μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί με ψύξη. Ο απλούστερος τρόπος εφαρμογής της μεθόδου είναι να θερμανθεί πρώτα το διάλυμα, ώστε να εξατμισθεί ένα μέρος του διαλύτη. Αν το



Σχ. 9.6α.

Κρυσταλλωτήρας εξατμίσεως.

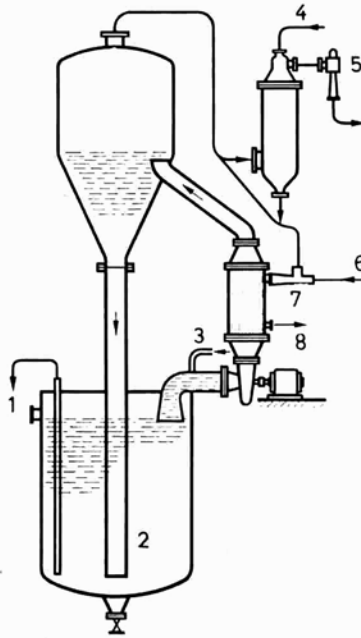
- 1) Αντλία τροφοδοσίας και ανακυκλοφορίας του διαλύματος. 2) Στόμιο τροφοδοσίας του διαλύματος. 3) Απομάκρυνση των ατμών του διαλύτη. 4) Χώρος εξατμίσεως. 5) Αιώρημα των αποβαλλομένων κρυστάλλων. 6) και 7) Στόμια τροφοδοσίας και επιστροφής του υδρατμού θερμάνσεως του εναλλάκτη θερμότητας. 8) Στόμιο εξαγωγής του αιωρήματος των κρυστάλλων.

διάλυμα μεταφερθεί κατόπιν σε ένα ανοικτό δοχείο και αφεθεί να ψυχθεί στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή με κυκλοφορία ψυκτικού υγρού, θα αποβληθεί η ποσότητα του διαλυμένου στερεού, που είναι πάνω από το όριο διαλυτότητας στη θερμοκρασία αυτή. Στη συνέχεια αποχύνεται το διάλυμα και συλλέγονται οι κρύσταλλοι του στερεού από τον πυθμένα και τα τοιχώματα του δοχείου.

9.6.2 Βιομηχανικοί κρυσταλλωτήρες.

Η παραπάνω απλή μέθοδος είναι ασυνεχής και μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε μικρές ποσότητες διαλυμάτων. Στη βιομηχανία η κρυστάλλωση με ψύξη διεξάγεται σε κρυσταλλωτήρες συνεχούς λειτουργίας, με ανακυκλοφορία του διαλύματος σε ψυχόμενους εναλλάκτες θερμότητας και παράλληλη εξάτμιση μέρους του διαλύτη με εφαρμογή κενού (σχ. 9.5η). Οι κρύσταλλοι που αποβάλλονται απομακρύνονται με εφαρμογή κενού (σχ. 9.6β). Οι κρύσταλλοι που αποβάλλονται απομακρύνονται σαν αιώρημα και αποχωρίζονται όπως και στην περίπτωση του θερμαινόμενου κρυσταλλωτήρα.

Η κρυστάλλωση χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα στη βιομηχανία για την παρασκευή πολλών προϊόντων, όπως τα λιπάσματα, το μαγειρικό αλάτι και άλλα ά-



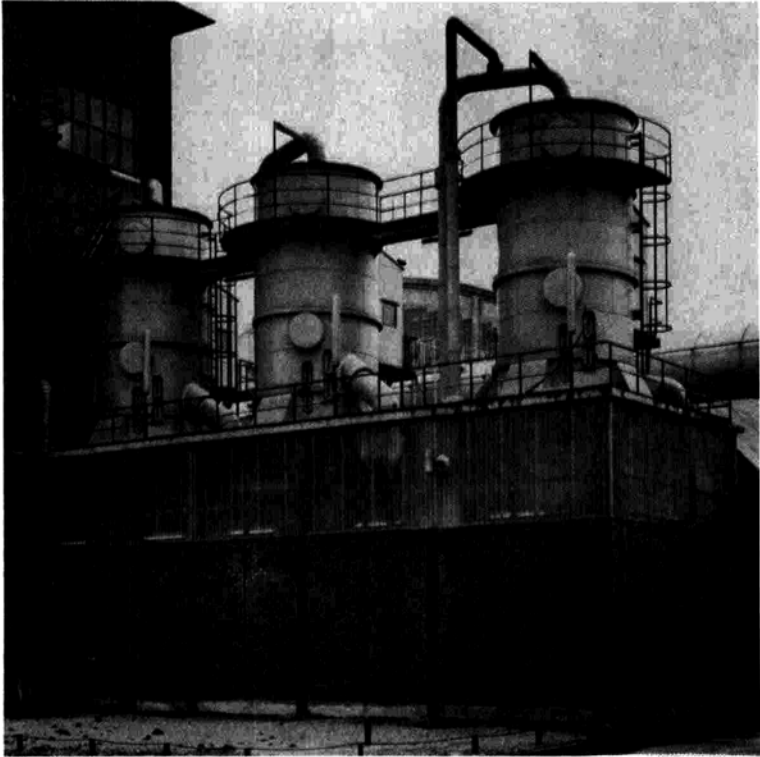
Σχ. 9.6β.

Κρυσταλλωτήρας ψύξεως και κενού.

- 1) Στόμιο εξαγωγής του αιωρήματος των κρυστάλλων. 2) Αιώρημα των αποβαλλομένων κρυστάλλων. 3) Στόμιο τροφοδοσίας του διαλύματος. 4) Νερό ψύξεως. 5) Εγχυτήρας για τη δημιουργία κενού. 6) και 8) Τροφοδοσία και επιστροφή του ψυκτικού υγρού. 7) Ψυχόμενος εναλλάκτης θερμότητας.

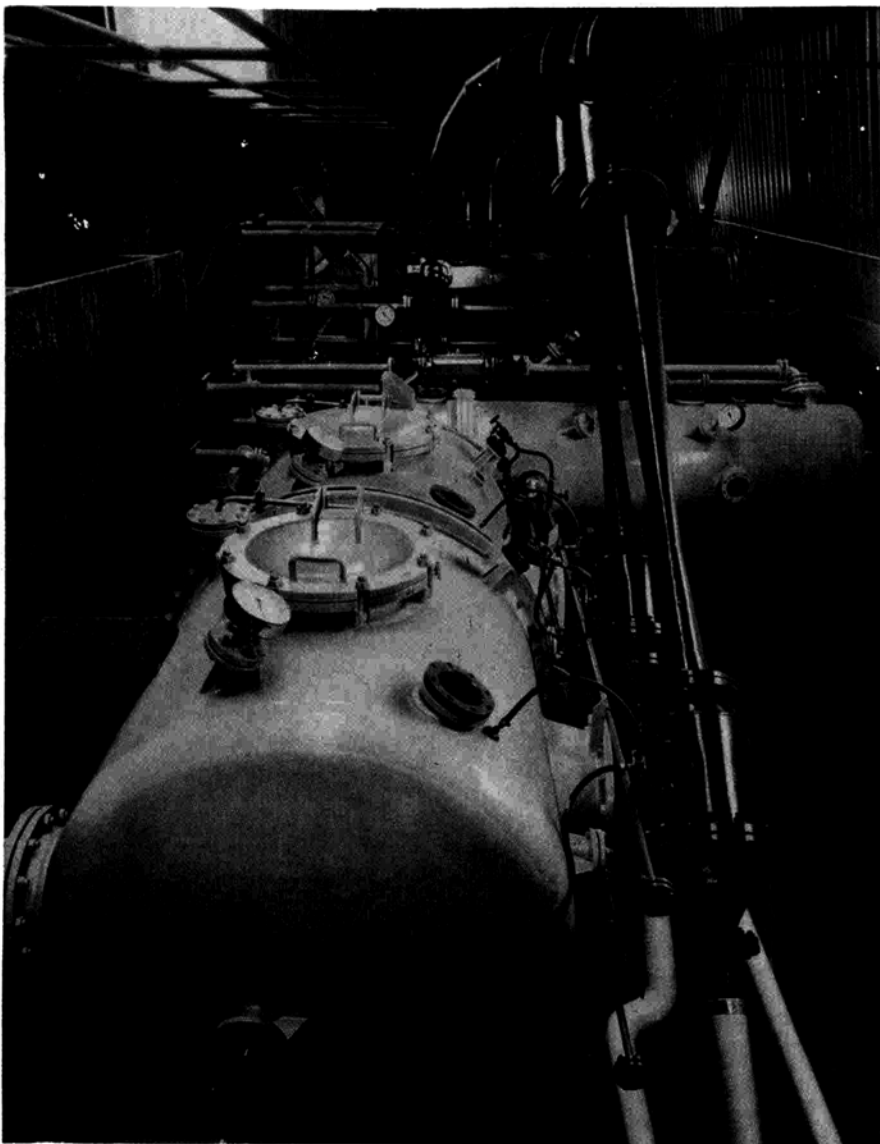
λατα, η ζάχαρη κλπ. Στη φωτογραφία του σχήματος 9.6γ εικονίζεται μια συστοιχία τριών κατακορύφων κρυσταλλωτήρων με ψύξη και κενό, για την παρασκευή θειικού αμμωνίου, που χρησιμοποιείται ως λίπασμα στους αγρούς.

Οι βιομηχανικοί κρυσταλλωτήρες κατασκευάζονται επίσης σε οριζόντια κυλινδρική μορφή. Ένας οριζόντιος κρυσταλλωτήρας εικονίζεται στο σχήμα 9.6δ. Στο επάνω μέρος του κρυσταλλωτήρα είναι προσαρμοσμένοι δύο μεγάλοι εγχυτήρες, που λειτουργούν με ατμό υπό πίεση και δημιουργούν κενό στο εσωτερικό του δοχείου. Πριν τροφοδοτηθεί στον κρυσταλλωτήρα, το διάλυμα ψύχεται στον κατακόρυφο εναλλάκτη θερμότητας, που βλέπομε ακριβώς πίσω του.



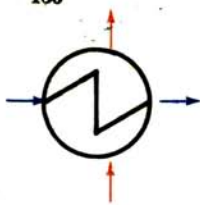
Σχ. 9.8γ.

Κατακόρυφοι κρυσταλλωτήρες με ψύξη και κενό.
Διακρίνονται οι σωληνώσεις του συστήματος κενού στην κορυφή των κρυσταλλωτήρων και οι λοξές σωληνώσεις τροφοδοσίας και ανακυκλώσεως στις πλευρές.

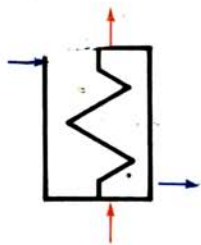


Σχ. 9.66.

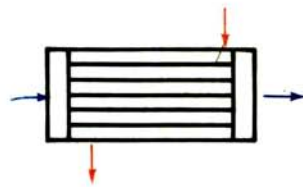
Οριζόντιος κρυσταλλωτήρας με ψύξη και κενό, ικανότητας 400 kg/h.



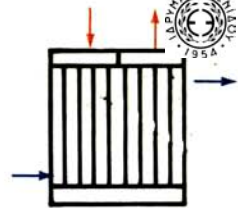
(a)



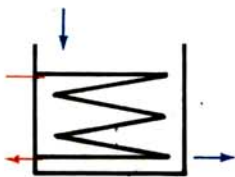
(b)



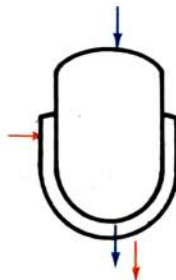
(γ)



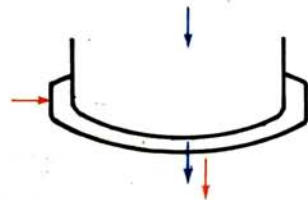
(δ)



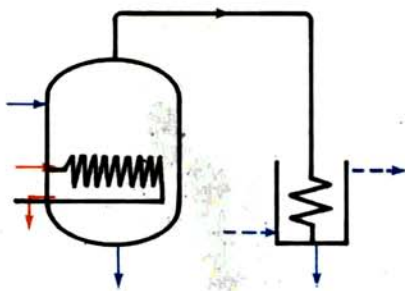
(ε)



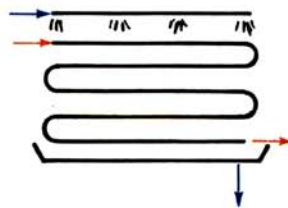
(σ)



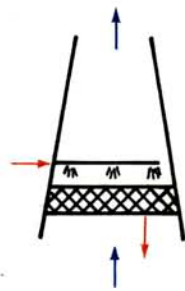
(ζ)



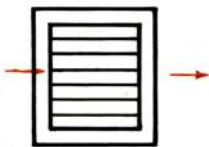
(η)



(θ)



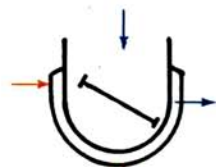
(λ)



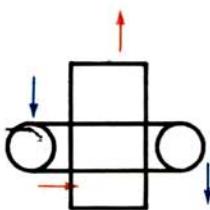
(λα)



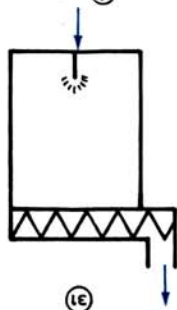
(λβ)



(λγ)



(λδ)



(λε)



(λς)

9.7 Συμβολισμοί για τη θέρμανση, την ψύξη και τις εφαρμογές τους.

Το σχήμα 9.7 περιέχει τους συμβολισμούς των κυριότερων βιομηχανικών συσκευών μεταδόσεως της θερμότητας, καθώς και των συσκευών εφαρμογής της θερμάνσεως και της ψύξεως στις βιομηχανικές διεργασίες που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Θα τονίσουμε και πάλι ότι ο τρόπος συμβολισμού των συσκευών και διεργασιών στα διαγράμματα της χημικής τεχνολογίας δεν είναι δεσμευτικός. Οι κατασκευαστές των μηχανημάτων, οι μελετητές των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, οι συγγραφείς των βιβλίων, αλλά και οι μαθητές των Λυκείων έχουν το δικαίωμα να επινοούν ή να προσαρμόζουν τα σύμβολα που χρησιμοποιούν, ώστε να δίνουν μία χρήσιμη και σαφή, κατά την κρίση τους, εικόνα της συγκροτήσεως και της λειτουργίας του τμήματος του εργοστασίου ή της βιομηχανικής μεθόδου που περιγράφουν. Για να μην οδηγήσει η ελευθερία αυτή σε πλήρη σύγχυση, θα πρέπει βέβαια να συνοδεύεται το διάγραμμα με την επεξήγηση των συμβόλων που περιέχει.

Ερωτήσεις και Ασκήσεις.

1. Σε ποιες βιομηχανικές διεργασίες είναι χρήσιμη η θέρμανση και σε ποιες η ψύξη των συσκευών;
2. Ποιος είναι ο προορισμός των θερμομονωτικών υλικών στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις;
3. Τι συνθήκες απαιτούνται για να αποκτήσει η φλόγα των καυσίμων υψηλή θερμοκρασία;
4. Ποιοι ατμολέβητες ονομάζονται υδραυλωτοί και ποιοι ονομάζονται φλογαυλωτοί;
5. Σχεδιάστε πρόχειρα ένα φλογαυλωτό ατμολέβητα δύο διαδρομών των καυσαερίων.
6. Ποια φυσικά φαινόμενα προκαλούν ψύξη;
7. Περιγράψτε τις μεθόδους παραγωγής ψύχους με συμπύεση και με απορρόφηση αμμωνίας.
8. Σχεδιάστε το κατασκευαστικό διάγραμμα της ψυκτικής μηχανής απορροφήσεως που περιγράφεται στην παράγραφο 9.3.
9. Υπολογίστε την περιεκτικότητα σε υγρασία % της ξηράς ουσίας σε ένα υλικό που περιέχει υγρασία 20% της συνολικής μάζας του. **(Απάντηση: 25%)**
10. Πόση ποσότητα νερού πρέπει να απομακρυνθεί από 1 τόνο στερεού σώματος περιεκτικότητας σε υγρασία 20% της συνολικής μάζας του, ώστε να μειωθεί σε 4%; **(Απάντηση: 167 kg)**
11. Με ποιους μηχανικούς τρόπους μπορεί να πραγματοποιηθεί η απομάκρυνση των υγρών που περιέχονται στα στερεά σώματα;
12. Σε ποιες περιπτώσεις επιδιώκεται η δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας και σε ποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται κενό κατά την ξήρανση των στερεών σωμάτων;
13. Περιγράψτε τη λειτουργία ενός περιστροφικού ξηραντηρίου συνεχούς λειτουργίας με άμεση θέρμανση.
14. Σχεδιάστε ένα υποθετικό διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας των καυσαερίων και του στερεού υλικού κατά μήκος του κυλίνδρου ενός περιστροφικού ξηραντηρίου συνεχούς λειτουργίας με άμεση θέρμανση, μήκους 10 m, στο οποίο τα καυσαέρια και το στερεό υλικό κινούνται **κατά ομορροή**. Ως αρχικές και τελικές θερμοκρασίες των καυσαερίων και του υλικού να θεωρηθούν εκείνες του σχήματος 9.4θ.

Σχ. 9.7.

Συμβολικές απεικονίσεις βιομηχανικών συσκευών θερμάνσεως και ψύξεως.

- α) και β) Γενικά σύμβολα για εναλλάκτες θερμότητας. γ) Απλός σωληνωτός εναλλάκτης θερμότητας. δ) Σωληνωτός εναλλάκτης θερμότητας με αναστροφή της πορείας του ενός ρευστού. ε) Ανοικτό δοχείο θερμάνσεως ή ψύξεως με σεραπαντίνα. στ) Κλειστό δοχείο με μανδύα θερμάνσεως ή ψύξεως. ζ) Ανοικτό δοχείο εξατμίσεως με θερμαντικό μανδύα. η) Συγκρότημα αποστάξεως. θ) Ψυγείο με καταιονισμό νερού. ι) Πύργος ψύξεως. ια) Ξηραντήριο με ράφια. ιβ) Θάλαμος ξηράσεως υπό κενό. ιγ) Ξηραντήριο τύπου σκάφης. ιδ) Ξηραντήριο με μεταφορική ταινία. ιε) Ξηραντήριο εκνεφώσεως. ιστ) Ανοικτό κρυσταλλωτήριο.

15. Τι είδους διαχωρισμοί επιδιώκονται με την απόσταξη των υγρών και την κρυστάλλωση των διαλυμάτων;
 16. Πότε ένα υγρό σώμα ονομάζεται **πηκτικό**;
 17. Περιγράψτε τη λειτουργία του εξατμιστήρα λεπτής στιβάδας.
 18. Ποια κοινά πλεονεκτήματα παρουσιάζουν το ξηραντήριο εκνεφώσεως και ο εξατμιστήρας λεπτής στιβάδας;
 19. Πόση ποσότητα νερού πρέπει να εξατμισθεί από 1 τόνο θαλασσινού νερού περιεκτικότητας σε NaCl 2,5%, ώστε να αποκτήσει περιεκτικότητα σε NaCl 10%; **(Απάντηση: 750 kg)**
 20. Ποια θα είναι η περιεκτικότητα του συμπυκνωμένου διαλύματος NaCl της προηγούμενης ασκήσεως, αν εξατμισθούν 450 kg νερού ακόμα; **(Απάντηση: 25%)**
 21. Με ποιους τρόπους μπορεί ένα διάλυμα να γίνει υπέρκορο;
 22. Γιατί σε πολλές περιπτώσεις εφαρμόζεται κενό κατά τη λειτουργία των κρυσταλλωτήρων;
-

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Η παραγωγή των βιομηχανικών προϊόντων

1.1 Πρώτες ύλες και προϊόντα	1
1.2 Ποιότητα και κόστος των βιομηχανικών προϊόντων	2
1.3 Η επιλογή της τοποθεσίας της βιομηχανικής εγκαταστάσεως	2
1.4 Οι βιομηχανικές περιοχές στην Ελλάδα	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Το αντικείμενο της Χημικής Τεχνολογίας

2.1 Η σχέση Χημικής Τεχνολογίας και Χημικής Βιομηχανίας	6
2.2 Η προσαρμογή στις πρακτικές συνθήκες	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Φυσικές και χημικές βιομηχανικές διεργασίες

3.1 Οι φυσικές διεργασίες και οι χημικές διεργασίες	9
3.2 Οι φυσικές διεργασίες στη χημική βιομηχανία	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Περιγραφικά διαγράμματα στη Χημική Βιομηχανία

4.1 Το σχηματικό διάγραμμα	12
4.2 Το κατασκευαστικό διάγραμμα	15
4.3 Ο βαθμιαίος σχεδιασμός μιας χημικής βιομηχανίας	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Αποθήκευση και μεταφορά των υλικών

5.1 Γενικά	20
5.2 Αποθήκευση και μεταφορά των στερεών	21
5.2.1 Αποθήκευση σε σωρούς και σιλό	21
5.2.2 Μεταφορικές ταινίες και κοχλίες	24
5.2.3 Αναβατόρια και λούκια	27
5.2.4 Δονούμενοι μεταφορείς και συστήματα αερομεταφοράς	29
5.3 Αποθήκευση και μεταφορά των υγρών	31
5.3.1 Αποθήκευση σε δοχεία και δεξαμενές	31
5.3.2 Μεταφορά με σωληνώσεις	32
5.3.3 Όργανα φραγής	34
5.3.4 Αντλίες μεταφοράς υγρών	35
5.4 Αποθήκευση και μεταφορά των αερίων	39
5.4.1 Αποθήκευση σε αεριοφυλάκεια, δοχεία πίεσεως και δεξαμενές	39
5.4.2 Αεραντλίες και συμπιεστές	41
5.4.3 Επιλογή και έλεγχος της λειτουργίας των συστημάτων μεταφοράς ρευστών	42
5.5 Συμβολισμοί για την αποθήκευση και μεταφορά των υλικών	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Ελάττωση του μέγους των στερεών

6.1 Γενικά	51
6.1.1 Η ειδική επιφάνεια των στερεών	51
6.1.2 Η μετάδοση της μηχανικής ενέργειας	53
6.2 Θραύση	53
6.2.1 Θραυστήρες με σιαγόνες	53
6.2.2 Θραυστήρες με σφυριά	55
6.3 Άλεση	57
6.3.1 Μύλοι με μυλόπετρες	57
6.3.2 Σφαιρόμυλοι	59
6.3.3 Κυλινδρόμυλοι	62
6.4 Συμβολισμοί για την ελάττωση του μέγους των στερεών	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Ανάμιξη των υλικών

7.1 Γενικά	65
7.2 Ανάμιξη στερεών	66
7.3 Ανάμιξη υγρών	66
7.3.1 Διαλύματα και γαλακτώματα	66
7.3.2 Ανάδευση με μηχανικό αναδευτήρα	67
7.3.3 Εμφύσηση αέρα και φυγοκέντρωση	69
7.4 Ανάμιξη μεταξύ υγρών και στερεών	71
7.4.1 Διαλύματα και αιωρήματα	71
7.4.2 Ζυμωτήρια	72
7.5 Προσρόφηση αερίων και υγρών από στερεά	74
7.6 Απορρόφηση αερίων από υγρά	76
7.6.1 Γενικά	76
7.6.2 Επίδραση της πίεσης και της θερμοκρασίας	76
7.6.3 Δοχεία αναδέυσεως	78
7.6.4 Πύργοι	79
7.7 Συμβολισμοί για την ανάμιξη των υλικών	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

Διαχωρισμός των υλικών

8.1 Γενικά	84
8.1.1 Σκοπός του διαχωρισμού	84
8.1.2 Μέθοδοι διαχωρισμού	85

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟ ΣΤΕΡΕΑ

8.2 Το κοσκίνισμα των στερεών	87
8.2.1 Τα κόσκινα	87
8.2.2 Κοκκομετρικά κλάσματα	88
8.2.3 Παλινδρομικά κόσκινα	91
8.3 Ανεμοδιαχωρισμός	93
8.4 Ηλεκτροστατικός και μαγνητικός διαχωρισμός	95
8.4.1 Ηλεκτροστατικοί διαχωριστές	95
8.4.2 Μαγνητικοί διαχωριστές	97

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟ ΑΕΡΙΑ

8.5 Η κατακράτηση του κονιορτού	100
8.5.1 Κονιορτός και κονιοπαγίδες	100
8.5.2 Κυκλώνες	101
8.5.3 Σακκόφιλτρα	102
8.5.4 Φίλτρα αέρα	104
8.5.5 Πύργοι πλύσεως	105
8.5.6 Πλυντήρια αερίων	107
8.5.7 Ηλεκτρόφιλτρα	107

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟ ΥΓΡΑ

8.6 Καθίζηση	110
8.7 Φυγοκέντρωση	114
8.8 Επίπλευση	117
8.9 Η διήθηση των υγρών	118
8.9.1 Διαύγαση των υγρών	118
8.9.2 Διυλιστήρια νερού	119
8.9.3 Διήθηση με πίεση	122
8.9.4 Φιλτρόπρεσσες	122
8.9.5 Φίλτρα κενού	126
8.10 Εκχύλιση	129
8.10.1 Εκχύλισμα και υπόλειμμα	129
8.10.2 Εκχυλιστικές μέθοδοι	130
8.10.3 Εκχύλιση υγρών σε πύργους	130
8.10.4 Φυγοκεντρικός εκχυλιστήρας υγρών	132
8.10.5 Περιτροφικός εκχυλιστήρας υγρών	135
8.10.6 Εκχυλιστήρες στερεών	135
8.11 Έκθλιψη	137
8.12 Συμβολισμοί για το διαχωρισμό των υλικών	138

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Θερμικές και ψυκτικές διεργασίες

9.1 Γενικά	143
9.1.1 Θέρμανση και ψύξη	143
9.1.2 Η θερμομόνωση	143
9.2 Μέθοδοι θερμάνσεως	146
9.2.1 Άμεση θέρμανση	146
9.2.2 Έμμεση θέρμανση με ατμό	147
9.2.3 Εναλλάκτες θερμότητας	152
9.3 Μέθοδοι ψύξεως	157
9.3.1 Ψυγεία καταιονισμού και πύργοι ψύξεως	157
9.3.2 Ψυκτικές μηχανές	160
9.4 Η ξήρανση των στερεών	162
9.4.1 Μέθοδοι ξηράνσεως	162
9.4.2 Άμεση και έμμεση ξήρανση	163
9.4.3 Περιτροφικά ξηραντήρια	165
9.4.4 Ξηραντήρια σήραγγας	169
9.4.5 Ξηραντήρια εκνεφώσεως	175
9.5 Η απόσταξη των υγρών	175
9.5.1 Γενικά	175
9.5.2 Κλασματική απόσταξη	177
9.5.3 Απόσταξη ευαίσθητων υγρών	178

9.6 Η κρυστάλλωση των διαλυμάτων	181
9.6.1 Γενικά	181
9.6.2 Βιομηχανικοί κρυσταλλωτήρες	182
9.7 Συμβολισμοί για τη θέρμανση, την ψύξη και τις εφαρμογές τους	187